

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Faculdade de Farmácia
Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos

Isabella Maciel Costa

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE BOLOS INTEGRAIS
ELABORADOS COM FARINHA EXTRUDADA DE MILHETO (*Pennisetum glaucum*
(L.) R. Br.) ADICIONADOS DE DIFERENTES TIPOS DE FIBRAS

Belo Horizonte

2023

Isabella Maciel Costa

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE BOLOS INTEGRAIS
ELABORADOS COM FARINHA EXTRUDADA DE MILHETO (*Pennisetum glaucum*
(L.) R. Br.) ADICIONADOS DE DIFERENTES TIPOS DE FIBRAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestra em Ciência de Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Camila Argenta Fante

Coorientador: Prof. Dr. Felipe Machado Trombete

Belo Horizonte

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

C837d Costa, Isabella Maciel.
Desenvolvimento e caracterização de bolos integrais elaborados com farinha extrudada de milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) adicionados de diferentes tipos de fibras [recurso eletrônico] / Isabella Maciel Costa. – 2023.

1 recurso eletrônico (123 f. : il.) : pdf

Orientadora: Camila Argenta Fante.

Coorientador: Felipe Machado Trombete.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Farmácia, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Panificação – Teses. 2. Cereais – Teses. 3. Farinhas – Teses. 4. Produtos novos – Teses. 5. Fibras – Teses. 6. Milho – Teses. I. Fante, Camila Argenta. II. Trombete, Felipe Machado. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Faculdade de Farmácia. IV. Título.

CDD: 664.7

Elaborado por Leandro da Conceição Borges – CRB-6/3448

FOLHA DE APROVAÇÃO

16/05/2023 10:23

SEI/UFMG - 2301288 - Folha de Aprovação



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE FARMÁCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS

FOLHA DE APROVAÇÃO

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE BOLOS INTEGRAIS ELABORADOS COM FARINHA EXTRUDADA DE MILHETO (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) ADICIONADOS DE DIFERENTES TIPOS DE FIBRAS

ISABELLA MACIEL COSTA

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA DE ALIMENTOS, como requisito para obtenção do grau de Mestre em CIÊNCIA DE ALIMENTOS, área de concentração CIÊNCIA DE ALIMENTOS.

Aprovada em 12 de maio de 2023, pela banca constituída pelos membros:

Profa. Dra. Camila Argenta Fante (Orientadora e presidente da comissão) - UFMG
Prof. Dr. Felipe Machado Trombete (Coorientador) - UFMG
Profa. Dra. Raquel Linhares Bello de Araújo - UFMG
Profa. Dra. Hellen Dea Barros Maluly - Faculdades Oswaldo Cruz

Assinatura dos membros da banca examinadora:



Documento assinado eletronicamente por **Felipe Machado Trombete, Usuário Externo**, em 12/05/2023, às 17:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Raquel Linhares Bello de Araújo, Professora do Magistério Superior**, em 15/05/2023, às 13:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Camila Argenta Fante, Professora do Magistério Superior**, em 15/05/2023, às 14:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **HELLEN DEA BARROS MALULY, Usuária Externa**, em 16/05/2023, às 10:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2301288** e o código CRC **2753B961**.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por iluminar meu caminho e por toda proteção durante minha jornada.

Aos meus, pais Ana Cláudia e Francisco, por acreditarem em mim, me apoiarem em todos os momentos, inclusive com as idas ao laboratório nos finais de semana e para fazer bolos, e me auxiliarem em tudo que precisei, sempre com muito amor, carinho e compreensão.

Ao meu namorado João Felipe, pelo companheirismo, compreensão, carinho e suporte, inclusive na companhia para ir ao Rio de Janeiro produzir farinha de milheto.

À professora e minha orientadora Camila Argenta Fante, por todos os ensinamentos compartilhados, pela oportunidade, confiança, paciência, suporte, amizade e por acreditar que daria tudo certo.

Ao professor e meu coorientador Felipe Machado Trombete, por estar sempre disposto a ajudar, por todo o aprendizado, incentivo, oportunidade e parceria na realização da pesquisa desde antes do processo seletivo do mestrado.

Aos professores Dr. Washington Azevedo da Silva, Dra. Aline Cristina Arruda Gonçalves, Dra. Cintia Nanci Kober, Dr. Christiano Vieira, Dr. Raúl Comettant-Rabanal, Dra. Verônica Ortiz Alvarenga e Dra. Adriana Silva França pela disponibilização de laboratórios e equipamentos, contribuições e dúvidas esclarecidas.

A todo apoio laboratorial de alunos, em especial às minhas alunas de iniciação científica Laura Magalhães Pêgo e Silva e Amanda de Souza Cardoso, dos técnicos dos laboratórios da UFSJ, UFMG e Embrapa Agroindústria de Alimentos.

Aos grandes amigos que fiz e aos que já conhecia e fortaleci ainda mais a amizade durante o Mestrado em Ciência de Alimentos da UFMG, em especial Amanda Nayara, Vinícius Tadeu, Camila Gonçalves, Amanda Neris, Nayana Hayss, Taynan Costa, Layla Talita, Érica Michele, Ana Luiza Vieira e Gabryelle Coutinho, pelo apoio na pesquisa, companheirismo, almoços e comemorações, disponibilidade para ajudar e compartilhamento de vivências.

Ao meu colega de trabalho, Cosme Barbosa, por todo apoio e incentivo durante o percurso da pós-graduação.

À Embrapa Agroindústria de Alimentos e em especial ao Dr. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho, pela disponibilidade, por todas as contribuições e análises desenvolvidas.

À banca avaliadora, na presença da Dra. Hellen Maluly, Dra. Raquel Linhares e Dra. Cintia Kobori por disporem de tempo e disponibilidade para avaliar e contribuir com o trabalho.

À Universidade Federal de São João del-Rei, pela parceria na realização da pesquisa.

À Universidade Federal de Minas Gerais, pelo apoio e manutenção do Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos.

À empresa Atto Sementes, pela doação dos grãos de milho ADR_G 9070 e pelo apoio à pesquisa.

RESUMO

Os consumidores estão cada vez mais conscientes e preocupados com sua nutrição e saúde. Assim, a utilização de fontes de cereais alternativas que tenham adequada composição nutricional vem se tornando uma demanda da indústria, principalmente na forma integral. Devido ao elevado teor de fibras, os produtos feitos com grãos integrais podem apresentar alteração de sabor e textura. A aplicação de alguns tratamentos, como a extrusão termoplástica, reduz o conteúdo de antinutrientes, aumenta a aceitação pelos consumidores, confere maior capacidade de absorção de água e estabilidade microbiológica. Os bolos são produtos versáteis, pois aceitam mudanças em suas formulações permitindo enriquecê-los com diferentes matérias-primas. O milheto é um cereal isento de glúten e fonte de calorias, micronutrientes essenciais, vitaminas, minerais, compostos fenólicos, e apresenta propriedades antioxidantes. É muito utilizado na alimentação humana em países africanos e asiáticos, porém, no Brasil, é usado como cobertura vegetal e para alimentação animal. A utilização deste cereal em alimentos com alta aceitação se torna uma estratégia para seu uso na alimentação humana no país. Na primeira etapa deste projeto, o objetivo foi avaliar os impactos da extrusão termoplástica nas propriedades físico-químicas e de pasta de farinhas de grãos de milheto decorticados e integrais, comparando as farinhas cruas (sem tratamento) com as extrudadas refinadas (provenientes dos grãos decorticados) e integrais. Já na segunda etapa, objetivou-se desenvolver e caracterizar bolos integrais contendo farinha extrudada de milheto integral e diferentes fontes de fibra (farelo de trigo, farelo de aveia, farelo de arroz ou psyllium) quanto à composição, características físico-químicas e sensoriais. O processo de extrusão aumentou significativamente ($p < 0,05$) a capacidade de absorção de água da farinha integral, mas não alterou a da farinha refinada ($p > 0,05$). A viscosidade final e a tendência à retrogradação diminuíram após a extrusão. A quebra de viscosidade também diminuiu nas amostras extrudadas, mas em maior extensão na amostra extrudada refinada, em função da maior exposição do amido ao tratamento térmico quando o cereal é decorticado. A adição das fontes de fibras reduziu significativamente ($p < 0,05$) o teor de umidade dos bolos, o que provavelmente se deve à capacidade das fibras de se ligarem à água, mas não alterou o volume específico e nem a cor externa dos bolos ($p > 0,05$). Todas as formulações foram consideradas fontes de fibras. Em termos sensoriais, a formulação controle apresentou as maiores notas para

todos os atributos e para intenção de compra. Porém, todas as amostras apresentaram aceitabilidade com notas médias de aceitação entre “gostei ligeiramente” e “gostei muito” e de intenção de compra entre “provavelmente compraria” e “certamente compraria”. Portanto, as farinhas de milheto produzidas possuem potencial para elaboração de diferentes alimentos, inclusive bolos. Os bolos desenvolvidos abrem possibilidade para novas pesquisas no desenvolvimento de outros produtos com a utilização desse cereal.

Palavras-chave: produtos de panificação; *pearl millet*; cereais; desenvolvimento de novos produtos; farinha integral.

ABSTRACT

Consumers are increasingly aware and concerned about their nutrition and health. Thus, the use of alternative cereal sources that have good nutritional composition has become a demand of the industry, especially whole grains. Due to the high fiber content, products with whole grains can change the taste and texture. The application of some treatments, such as thermoplastic extrusion, reduces the content of antinutritional compounds and increases consumer acceptance, in addition to increase the water absorption capacity and the microbiological stability. Cakes are versatile products, as they accept variations in their recipe, allowing them to be enriched with different raw materials. Pearl millet is a gluten-free cereal source of calories, essential micronutrients, vitamins, minerals, phenolic compounds, and present antioxidant properties. It is widely used for human food in African and Asian countries, but in Brazil it is used as mulch and for animal feed. The use of this cereal in easily accessible and accepted foods becomes a strategy for its introduction into human diet in the country. In the first part of this project, the aim was to evaluate the impacts of extrusion on the physicochemical and paste properties of decorticated and whole grain pearl millet flours, by comparing raw (untreated) flours with decorticated and whole grain extruded flours. In the second part, the objective was to develop and characterize whole grain cakes containing extruded whole grain pearl millet flour and different fiber sources (wheat bran, oat bran, rice bran, or psyllium) regarding composition, physicochemical and sensory characteristics. The extrusion process significantly increased ($p < 0.05$) the water absorption capacity of the whole grain flour, but did not change for the decorticated flour ($p > 0.05$). The final and the setback viscosities decreased after extrusion. Breakdown viscosity also decreased in the extruded samples, but the decorticated extruded flour decreased even more, due to the higher exposure of starch to heat treatment when the grain is decorticated. The addition of fibers significantly reduced ($p < 0.05$) the moisture content of the cakes, which is probably because of the ability of the fibers to bind water, but did not change the specific volume or the external color of the cakes ($p > 0.05$). All samples were considered as fiber sources. In sensory aspects, the control formulation (without fibers) presented the highest scores for all attributes and for purchase intention. However, all samples showed acceptability with average acceptance scores between "I liked it slightly" and "I liked it a lot" and purchase intention between "I would probably buy it" and "I would certainly buy it". Therefore, the pearl millet flours produced present potential to make different foods, including cakes. Also, the cakes developed may encourage further research in the development of other new products using this cereal.

Keywords: bakery products; *pearl millet*; cereals; development of new products; whole grain flour.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	14
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.2 Objetivos Específicos.....	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 produtos de panificação	18
3.2 Fibras alimentares como ingredientes em produtos de panificação	21
3.3 Alimentos integrais	25
3.4 Milheto	27
3.5 Extrusão termoplástica	34
3.6 Análise sensorial	37
3.7 Referências	41
4 IMPACTOS DA EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA EM FARINHAS DE MILHETO (<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br.) DECORTICADO E INTEGRAL	53
4.1 Resumo	53
4.2 Introdução	54
4.3 Materiais e métodos.....	56
4.3.1 <i>Produção das farinhas</i>	56
4.3.2 <i>Avaliação objetiva da cor</i>	57
4.3.3 <i>Distribuição granulométrica</i>	57
4.3.4 <i>Índice de absorção de água</i>	58
4.3.5 <i>Propriedades de pasta</i>	58
4.3.6 <i>Microscopia eletrônica de varredura</i>	58
4.3.7 <i>Análises estatísticas dos resultados</i>	59
4.4 Resultados e discussão.....	59
4.4.1 <i>Avaliação objetiva da cor</i>	59
4.4.2 <i>Distribuição granulométrica das farinhas</i>	60
4.4.3 <i>Índice de absorção de água das farinhas</i>	61
4.4.4 <i>Propriedades de pasta das farinhas</i>	63
4.4.5 <i>Microscopia eletrônica de varredura</i>	67
4.5 Conclusão	69
4.6 Referências	69

5 DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE BOLOS INTEGRAIS FONTES DE FIBRA ELABORADOS COM FARINHA EXTRUDADA DE MILHETO (<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br.) INTEGRAL	74
5.1 Resumo	74
5.2 Introdução	75
5.3 Material e métodos	78
5.3.1 Materiais	78
5.3.2 Obtenção da farinha extrudada de milheto integral	79
5.3.3 Formulação e produção dos bolos integrais	79
5.3.4 Análises físico-químicas	82
5.3.4.1 Composição centesimal	82
5.3.4.2 Atividade de água	82
5.3.4.3 Volume específico	83
5.3.4.4 Avaliação objetiva da cor	83
5.3.4.5 Análise da textura instrumental	83
5.3.5 Elaboração de tabela de informação nutricional	83
5.3.6 Análises microbiológicas	83
5.3.7 Análise sensorial	84
5.3.7.1 Testes afetivos	85
5.3.7.2 Teste descritivo Check-all-that-apply (CATA)	85
5.3.8 Análise estatística dos resultados	86
5.4 Resultados e discussão	86
5.4.1 Composição centesimal e atividade de água	86
5.4.2 Informação nutricional	89
5.4.3 Avaliação objetiva da cor e de volume específico	91
5.4.4 Perfil instrumental de textura	92
5.4.5 Análises microbiológicas	95
5.4.6 Análise sensorial	95
5.4.6.1 Grupo focal	95
5.4.6.2 Delineamento do perfil dos participantes dos testes de aceitação, de intenção compra e CATA	96
5.4.6.3 Testes afetivos	98
5.4.6.4 Teste descritivo Check-all-that-apply (CATA)	102
5.5 Conclusão	105
5.6 Referências	106

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	114
APÊNDICES	116

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os consumidores estão cada vez mais conscientes e preocupados com sua nutrição e saúde e, dessa forma, têm buscado um estilo de vida saudável e a ingestão de alimentos que possuam efeitos benéficos à saúde e tenham atributos sensoriais atrativos (ABDULLAH et al., 2022; INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS - ITAL, 2010, 2014). Nesse sentido, as indústrias de alimentos precisam desenvolver novos produtos que atendam às demandas dos consumidores (CAYRES et al., 2021).

Os cereais e os produtos à base de cereais possuem um papel importante na alimentação humana como fonte de energia e nutrientes e sua produção mundial vem aumentando ao longo dos anos (DIAS-MARTINS et al., 2018; XU et al., 2020). A utilização de fontes de cereais alternativas que tenham adequada composição nutricional vem se tornando uma demanda da indústria de panificação, principalmente na forma integral (CAYRES et al., 2021; DIAS-MARTINS et al., 2018).

Os bolos são produtos consumidos e aceitos por grande parte das pessoas de diferentes faixas etárias, podem ser doces ou salgados e são uma fonte básica de carboidratos (ÁVILA et al., 2017; CAYRES et al., 2020). Segundo dados da Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães e Bolos Industrializados (ABIMAPI, 2023), o volume de vendas de bolos industrializados em 2021 representou 0,045 milhões de toneladas movimentando 1,368 bilhões de reais, refletindo uma participação de mercado considerável.

Os bolos são produtos versáteis, pois aceitam uma grande quantidade de variações em suas formulações o que permite enriquecê-los com diferentes matérias-primas. Assim, para atender às demandas do mercado de busca por produtos saudáveis, os bolos com substituição parcial ou total da farinha de trigo por outras fontes de cereais integrais têm sido alvo de estudos, assim como o seu enriquecimento com fibras (ÁVILA et al., 2017; CAYRES et al., 2021). O processo de refinamento promove a retirada do gérmen e farelo dos grãos e, conseqüentemente, diminui a quantidade de fibra alimentar, compostos bioativos e micronutrientes. Dessa forma, o uso de cereais integrais na fabricação de alimentos tem aumentado por serem mais interessantes do ponto de vista nutricional (DIAS-MARTINS et al., 2018; PRASADI; JOYE, 2020).

O milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) ou *pearl millet* é um cereal que possui características fisiológicas vantajosas por ser resistente a condições adversas como seca, baixa fertilidade do solo, alta salinidade e altas temperaturas, além de ter alta capacidade de extrair nutrientes, devido ao seu sistema de raízes profundas, e apresentar uma baixa incidência de

micotoxinas (DIAS-MARTINS, 2019; OLIVEIRA, 2013). A espécie *Pennisetum glaucum* é a mais amplamente cultivada. Ela é fonte de calorias, micronutrientes essenciais, vitaminas, minerais, fitoquímicos, compostos fenólicos, apresenta propriedades antioxidantes e não possui glúten (DIAS-MARTINS et al., 2018; DIAS-MARTINS, 2019; GOVINDARAJ et al., 2019; MARTINS et al., 2021).

O milho é muito cultivado nas regiões tropicais áridas e semi-áridas da África e Ásia e utilizado na alimentação humana em países africanos, asiáticos e da América do Norte, caracterizando-se como uma das principais fontes proteicas e de calorias para promoção de segurança alimentar em países em desenvolvimento (BRASIL et al., 2015; DIAS-MARTINS, 2019; GOVINDARAJ et al., 2019; OLIVEIRA, 2013). Contudo, apesar de sua qualidade nutricional, no Brasil, o milho é usado como cobertura vegetal (preparo do solo) e para alimentação animal. A utilização deste cereal em alimentos com alta aceitação, como os produtos de panificação, se torna uma estratégia para sua incorporação na alimentação humana (DIAS-MARTINS et al., 2018; OLIVEIRA, 2013).

O consumo de fibras alimentares tem sido relacionado a diversos benefícios à saúde humana, como redução dos níveis de colesterol sérico, do tempo de trânsito intestinal e do risco de doenças cardiovasculares, diabetes tipo 2, obesidade, hipertensão. Recomenda-se um consumo diário médio de 25 g de fibras para adultos, conforme a Organização Mundial da Saúde, contudo, uma grande parte das pessoas não atende à essa recomendação (DHINGRA et al., 2012; IBGE, 2020; IONIȚĂ-MÎNDRICAN et al., 2022; JANE; MCKAY; PAL, 2019). Sendo assim, a adição de fibras em alimentos aceitos pelas pessoas, como os bolos, se mostra como uma alternativa para aumentar o consumo desses nutrientes na dieta sem a necessidade de grandes alterações nos tipos de produtos consumidos (DHINGRA et al., 2012; IBGE, 2020; JANE; MCKAY; PAL, 2019).

Entretanto, mesmo que um produto alimentício seja rico nutricionalmente, não será introduzido no mercado se não apresentar aceitação sensorial e satisfazer às expectativas do consumidor. Características como aparência, cor, aroma, textura e sabor são critérios que influenciam a escolha por consumir ou não um produto. Portanto, métodos de análise sensorial devem ser empregados para verificar a aceitação e percepção dos novos produtos pelos consumidores (DE KOCK; MAGANO, 2020; GUINÉ, 2022; RUIZ-CAPILLAS et al., 2021). Estudos envolvendo o uso do milho como matéria-prima para o desenvolvimento de alimentos têm indicado aceitação sensorial, demonstrando, assim, potencial para inserção no

mercado (ADEBANJO et al., 2020; ADEBIYI et al., 2017; ANDRADE et al., 2021; BRASIL et al., 2015; NEHRA et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2021; RADHIKA et al., 2019).

Logo, o uso de milho na panificação associado à adição de fibras se mostra como uma estratégia potencial para atender à demanda de mercado de busca por alimentos saudáveis e ao mesmo tempo como uma forma de valorizar essa cultura subutilizada. A utilização para produção de bolos é uma alternativa considerável para a popularização do consumo deste cereal pela população brasileira.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Desenvolver e caracterizar bolos integrais contendo farinha extrudada de milho e diferentes fontes de fibra.

2.2 Objetivos Específicos

- Produzir farinha extrudada de milho integral, caracterizá-la e aplicá-la na formulação de bolos;
- Produzir bolos integrais de milho para introdução e popularização do consumo desse cereal na alimentação humana no Brasil;
- Avaliar a influência da adição de diferentes tipos de fibras nas características físico-químicas, tecnológicas e sensoriais de bolos;
- Identificar características sensoriais descritivas com consumidores para um bolo integral contendo farinha de milho;
- Comparar os dados de textura instrumental e as percepções sensoriais dos avaliadores não treinados.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 produtos de panificação

A busca por produtos saudáveis e que ao mesmo tempo tragam benefícios à saúde é uma tendência no segmento de alimentação, decorrente de fatores como envelhecimento da população, urbanização, inserção da mulher no mercado de trabalho, mudanças na estrutura familiar, vinculação entre dieta e doenças crônicas não transmissíveis, políticas públicas e maior acesso à educação e informação (INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS - ITAL, 2010, 2014). Os produtos de panificação, como pães, bolos, massas alimentícias e biscoitos, são conhecidos, aceitos, acessíveis e consumidos pela população. Esses alimentos apresentam formulações, sabores, textura e formatos variados e a utilização de fontes de cereais alternativos de forma integral, que não possuem glúten, com apelo sustentável e com boa composição nutricional, especialmente com alto teor de fibras, vem se tornando cada vez mais demandadas pelas indústrias de alimentos a fim de atenderem às tendências de mercado (CAYRES et al., 2021; DIAS-MARTINS et al., 2018).

Os produtos derivados de cereais constituem um importante setor da indústria de alimentos brasileira, com valor de mercado nacional, em 2021, de 50,44 bilhões de reais e produção de 4,841 milhões de toneladas para a cesta total de produtos (pães e bolos industrializados, massas alimentícias, biscoitos e farinha de trigo doméstica) (ABIMAPI, 2023). Já para o cenário internacional, as exportações apresentaram valor de mercado de 302,05 milhões de dólares e volume produzido de 260,16 toneladas para a cesta total (INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS - ITAL, 2014).

Os produtos de panificação geralmente possuem como constituição básica a farinha, tradicionalmente de trigo, sal e/ou açúcar (GASPARRE et al., 2022). Na Resolução de Diretoria Colegiada - RDC nº 711, de 1º de julho de 2022 (BRASIL, 2022a), são estabelecidos os requisitos sanitários para amidos, biscoitos, cereais integrais, cereais processados, farelos, farinhas, farinhas integrais, massas alimentícias e pães. O pão é definido como o produto alimentício proveniente da cocção de farinha adicionada de líquido, podendo ser fermentado ou não, apresentar coberturas, recheios, texturas e formatos variados (BRASIL, 2022a). Já o biscoito, que também pode ser chamado de bolacha, é o alimento produzido a partir da mistura de farinhas, amidos ou féculas com outros ingredientes com posterior amassamento e cocção, podendo também ser fermentado ou não e exibir diferentes recheios, coberturas, texturas e formatos (BRASIL, 2022a). Porém, no Brasil, atualmente ainda não há um regulamento técnico que defina o produto bolo e determine os ingredientes e os requisitos de qualidade.

Os bolos são alimentos que podem ser consumidos em diferentes refeições e que são populares entre pessoas de todas as idades e classes sociais devido à sua disponibilidade, praticidade, conveniência, longa estabilidade, preço, variedade e características sensoriais e nutricionais (ABDULLAH et al., 2022; CAYRES et al., 2020, 2021; JEDDOU et al., 2017; LEVENT; SAYASLAN; YEŞIL, 2021; MENDES et al., 2021). Eles são um dos produtos de panificação mais produzidos depois de pães e biscoitos de forma industrial em diversos países (KÖTEN, 2021; LEVENT; SAYASLAN; YEŞIL, 2021). Existe uma diversidade de bolos e formulações que variam em todo o mundo. Podem ser consumidos com ou sem cobertura, com ou sem adição de aromatizantes e saborizantes, com ou sem recheio, adicionados de fibras, dentre outros (ÁVILA et al., 2017).

Os bolos são geralmente produtos doces e com miolo macio. A massa dos bolos pode ser considerada uma emulsão de óleo em água contendo bolhas de ar em uma fase gordurosa (fase descontínua) e com uma fase aquosa contínua contendo ingredientes secos dissolvidos ou suspensos (GIAROLA et al., 2022; XU et al., 2020).

A qualidade dos bolos pode ser medida tanto por suas características físico-químicas, como textura, volume, altura, estrutura, cor da crosta e do miolo, quanto por suas características sensoriais (XU et al., 2020). As suas características de qualidade podem depender de diversos fatores, como do processo de produção, da aeração da massa, do cozimento e dos ingredientes utilizados (HEDAYATI et al., 2022; TOPKAYA; ISIK, 2019).

A cor é um parâmetro importante de qualidade em bolos, já que bolos com miolo (interior) de coloração mais clara tendem a ser mais aceitos do que bolos de coloração interna mais escura. A cor da crosta é resultante das reações de Maillard e de caramelização, enquanto a cor interna está relacionada aos ingredientes utilizados (ÁVILA et al., 2017; HEDAYATI et al., 2022; PAESANI; BRAVO-NÚÑEZ; GÓMEZ, 2021). A textura também influencia a qualidade fazendo com que sejam aceitos sensorialmente ou não. As características de textura normalmente analisadas em bolos, independentemente de sua formulação, são a coesividade, dureza, elasticidade e mastigabilidade (ÁVILA et al., 2017; HEDAYATI et al., 2022).

O volume do bolo é em parte consequência do ar incorporado na massa (ÁVILA et al., 2017). A eficiência de retenção de ar nos bolos se relaciona proporcionalmente com a viscosidade da massa. O volume do bolo é influenciado pela temperatura de geleificação do amido, sendo que quanto maior a temperatura de geleificação, melhor será a expansão da massa (XU et al., 2020).

O volume específico e a densidade demonstram a relação entre o teor de sólidos e a proporção de ar na massa assada. Massas com volume específico baixo ou densidade alta não são desejadas, pois conferem aspecto desagradável ao produto (embatumado). Um alto teor de umidade, pouca aeração, falhas no batimento e cocção, sabor desagradável e difícil mastigação também são defeitos importantes nos produtos de panificação (ESTELLER; LANNES, 2005).

Farinha, açúcar, ovos, óleo/gordura e fermento em pó são os principais ingredientes utilizados na fabricação de bolos. Emulsificantes, sorbitol e açúcar invertido são alguns aditivos que também podem ser adicionados às formulações (ADEMOSUN et al., 2021; MENDES et al., 2021; TOPKAYA; ISIK, 2019).

Além de promover dulçor aos bolos, o açúcar afeta sua estrutura controlando a geleificação do amido. O retardo deste processo durante o assamento permite que as bolhas de gás se expandam à medida que se aumenta a pressão de vapor formando um bolo com estrutura volumosa (TSATSARAGKOU et al., 2021). Já os ovos apresentam propriedade espumante e emulsificante proporcionando efeitos significativos no volume, textura, cor e sabor do bolo (GIAROLA et al., 2022; HEDAYATI et al., 2021). A gordura, por sua vez, é responsável pela incorporação de ar na massa por meio de pequenas bolhas melhorando sua estabilidade, diminuindo os efeitos de coalescência e a migração das bolhas para a superfície. Dessa forma, contribui também para o aumento do volume da massa. Além disso, pode auxiliar na textura, tornando o bolo mais macio (ROMÁN et al., 2015).

Os emulsificantes são aditivos funcionais de superfície que emulsificam e estabilizam emulsões. Eles podem ser adicionados aos bolos a fim de proporcionar maior aeração e aumentar a formação e estabilidade das bolhas de gás durante o desenvolvimento do bolo, antes da formação da estrutura do produto final, já que formam um filme estabilizador ao redor da superfície das bolhas (HEDAYATI et al., 2022; XU et al., 2020). Esses aditivos diminuem a tensão interfacial das fases gasosa e líquida, propiciam mais locais de expansão de gás resultando em alto volume e miolo macio e uniforme, além de conseguirem melhorar os valores de coesividade e elasticidade, aumentando a extensão das células de gás e a resistência das paredes celulares. Os emulsificantes também interagem com o amido e influenciam sua retrogradação, além de prevenir a lixiviação da amilose (HEDAYATI et al., 2022).

A farinha refinada de trigo é um ingrediente comum na produção de bolos, porém, o uso de outros cereais tem sido explorado (MARBOH; MAHANTA, 2022). A adição de outras substâncias na formulação desses produtos requer uma análise sobre suas características intrínsecas, funcionais, tecnológicas e sensoriais. Contudo, não são produtos que necessitam de

farinhas com alto teor de proteínas e desenvolvimento da rede de glúten. Logo, o uso de outras farinhas, além da de trigo, é uma possibilidade (ÁVILA et al., 2017). Os bolos produzidos com misturas de farinhas, farinhas integrais e com maior valor nutricional e/ou adicionados de fibras têm sido cada vez mais procurados em consequência de seus benefícios à saúde e propriedades tecnológicas (GALLEGO et al., 2022; MARBOH; MAHANTA, 2022; XU et al., 2020).

3.2 Fibras alimentares como ingredientes em produtos de panificação

Segundo a Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) 2017-2018 sobre a análise do consumo alimentar pessoal no Brasil, a população brasileira ainda precisa avançar no consumo de fibras, visto que a recomendação de ingestão diária de fibras (25g) só foi atingida, considerando o consumo médio, pelos homens adultos (19 – 59 anos) e foi mais crítica entre as mulheres, pois a média não atingiu a recomendação diária em nenhuma faixa etária (IBGE, 2020). O consumo regular de fibras tem sido muito relacionado com efeitos benéficos à saúde humana, como redução do risco de doenças crônicas não transmissíveis, como doença cardiovascular, de constipação e certos tipos de câncer, promoção de saciedade, diminuição do tempo de trânsito intestinal, da absorção de glicose e de colesterol LDL e estímulo à proliferação da microbiota intestinal (DHINGRA et al., 2012; JEDDOU et al., 2017; VERONESE et al., 2018).

As fibras alimentares incluem polímeros de carboidratos com 10 ou mais unidades monoméricas (oligossacarídeos, polissacarídeos distintos do amido, amido resistente, lignina e substâncias vegetais associadas) que não são hidrolisados ou absorvidos no intestino delgado, mas são fermentados, parcialmente ou completamente, no intestino grosso/cólon gerando ácidos graxos de cadeia curta (CHENG et al., 2021; DALA-PAULA, 2021).

As fibras podem ser classificadas como solúveis e insolúveis. As fibras solúveis (pectina, gomas, mucilagens, β -glucana e alguns tipos de hemicelulose) estão mais relacionadas com a redução da absorção de glicose e colesterol e são altamente fermentáveis. Elas propiciam a formação de gel, reduzindo o esvaziamento gástrico e tornando o processo digestório mais lento. Já as fibras insolúveis, (celulose, maioria das hemiceluloses e lignina) se relacionam com o efeito de regulação e aceleração do trânsito intestinal, sendo pouco fermentadas por micro-organismos intestinais. Estas apresentam capacidade de retenção de água e, dessa forma, aumentam o volume e o peso do bolo fecal. Elas são geralmente indicadas para pacientes com quadro clínico de constipação intestinal (DALA-PAULA, 2021; DHINGRA et al., 2012; HU et al., 2023; JEDDOU et al., 2017; PRASADI; JOYE, 2020).

Uma forma de tentar promover um maior consumo de fibras é a adição de ingredientes fontes de fibras em alimentos industrializados que são populares, fáceis de obter e práticos, como pães e bolos (ÁVILA et al., 2017; CAYRES et al., 2021; MA et al., 2022). Diversas fontes de fibras têm sido utilizadas para o enriquecimento de produtos de panificação, como farelos de cereais (trigo, aveia, sorgo, arroz, milho, cevada, centeio), psyllium, inulina, goma guar, amido resistente e subprodutos do processamento de alimentos e bebidas (AKTER et al., 2023; ÁVILA et al., 2017; CAYRES et al., 2021; FRADINHO; NUNES; RAYMUNDO, 2015; GULARTE et al., 2012; JEDDOU et al., 2017; KIUMARSI et al., 2019; NAKOV et al., 2020; RIOS et al., 2020; SILVA et al., 2019). Além de enriquecer os alimentos proporcionando benefícios à saúde de quem os consome, as fibras podem auxiliar na melhoria da textura e da estabilidade do alimento, das características reológicas, da qualidade sensorial e podem prolongar a vida útil do produto em virtude de sua capacidade de se ligar à água (DHINGRA et al., 2012; JEDDOU et al., 2017; KIUMARSI et al., 2019; RIOS et al., 2020).

O enriquecimento de alimentos com farelo de cereais tem despertado interesse devido à maior atenção dos consumidores e promotores de políticas públicas para a ingestão de fibras alimentares e a redução do desperdício de alimentos (RENZETTI; THEUNISSEN; HORREVORTS, 2021). O farelo é a parte mais externa que reveste o gérmen e o endosperma do grão. Os farelos de cereais são matérias-primas de baixo custo que possuem uma quantidade de fibras significativa, além de já serem comumente utilizados em alimentos comerciais, caracterizando-se como alternativas viáveis para se adicionar em produtos de panificação (PRASADI; JOYE, 2020).

O farelo de trigo é um coproduto proveniente da fabricação da farinha de trigo refinada e constitui cerca de 13 a 20% do grão. Ele possui uma alta quantidade de minerais, vitaminas, proteínas, compostos bioativos e fibras alimentares (entre 33% e 63%), predominantemente insolúveis (85 a 93%), além de conter todos os aminoácidos essenciais (CHENG et al., 2021; DAKHARA; ANAJWALA; SELOTE, 2012; KIUMARSI et al., 2019; MA et al., 2022; ONIPE; JIDEANI; BESWA, 2015). Os principais componentes da fração insolúvel de fibras são celulose, hemicelulose e lignina, enquanto a fração solúvel (5 a 9%) possui β -D-glucanos, arabinoxilano solúvel e oligossacarídeos (MA et al., 2022). Alguns de seus benefícios à saúde estão relacionados com a prevenção da constipação, de doenças cardiovasculares e de câncer colorretal, proteção das células normais do dano oxidativo e regulação da glicose e metabolismo lipídico (CHENG et al., 2021; DAKHARA; ANAJWALA; SELOTE, 2012; SHANG et al., 2021).

A utilização do farelo de trigo como um ingrediente na formulação de produtos alimentícios tem crescido ao longo dos anos (CHENG et al., 2021). A sua adição a produtos de panificação pode contribuir para um aumento do prazo de validade, uma vez que aumenta a capacidade de retenção de água sem elevar a atividade de água, retarda o envelhecimento do amido e pode reduzir a recristalização da amilopectina (MA et al., 2022). O tamanho da partícula do farelo de trigo pode influenciar nas características da massa e na qualidade do produto, já que partículas finas causam menos danos à massa do que as mais grossas. A adição de farelo de trigo com tamanho de partículas pequenas pode ainda melhorar as características de bolos, incluindo um maior volume específico (MA et al., 2022; ONIPE; RAMASHIA; JIDEANI, 2021).

O farelo de aveia é um subproduto da moagem de aveia que compõe cerca de 50% do grão inteiro. Possui um alto conteúdo de compostos fenólicos, proteínas, oligo e polissacarídeos, apresenta entre 8% e 20% de fibras alimentares totais, sendo elas insolúveis (celulose, hemicelulose e lignina) e solúveis (beta-glucana), e tem sido relacionado a efeitos redutores do colesterol, prebióticos e anticancerígenos (BAI et al., 2021; BAUMGARTNER et al., 2018; DAKHARA; ANAJWALA; SELOTE, 2012; GULARTE et al., 2012; RENZETTI; THEUNISSEN; HORREVORTS, 2021; SHARMA et al., 2016). Em uma revisão crítica, Jane, McKay e Pal (2019), após as evidências discutidas no artigo, apresentaram uma recomendação de consumo para prática clínica do farelo de aveia. Uma dose de 10 g de farelo de aveia parece ser suficiente para moderar a resposta glicêmica após uma refeição e pode auxiliar adultos a controlar os níveis de glicose no sangue (JANE; MCKAY; PAL, 2019).

Geralmente, o farelo de aveia é constituído pelo farelo juntamente com frações do endosperma, uma vez que a retirada deste é mais difícil se comparada a de outros grãos, devido ao alto conteúdo lipídico (DAKHARA; ANAJWALA; SELOTE, 2012). Devido a este conteúdo lipídico, o farelo de aveia é suscetível à oxidação que provoca sabor ruim e redução da qualidade. Logo, a utilização de métodos de processamento para inibir a rancidez oxidativa podem ser utilizados, como uso de vapor, micro-ondas e secagem com ar quente (BAI et al., 2021).

O farelo de arroz é derivado da fabricação do arroz branco por meio do polimento dos grãos integrais após a retirada da casca e representa cerca de 5-8% do total do grão. Dessa forma, esse se caracteriza como um subproduto da cadeia do arroz que constitui cerca de 10% da produção anual do grão. Ele contém entre 20% e 33% de fibras, sendo a maioria delas insolúveis, principalmente celulose e lignina, e é rico em ácidos graxos, proteínas e minerais

(DAKHARA; ANAJWALA; SELOTE, 2012; GUL et al., 2015; MENDES et al., 2021; SOHAIL et al., 2017; ZHAO et al., 2018). Além disso, este coproduto é rico em compostos antioxidantes como polifenóis, vitamina E, tocoferóis, tocotrienóis e carotenoides que auxiliam na prevenção do dano oxidativo ao DNA e a outros tecidos, e tem sido associado a diversos efeitos benéficos à saúde como redução do nível de colesterol, atividade anti-inflamatória, prevenção de doenças cardíacas coronárias e diminuição da incidência de câncer (GUL et al., 2015; PUNIA et al., 2021b).

A suplementação com farelo de arroz visando aumentar a qualidade nutricional dos alimentos tem sido cada vez mais aplicada na indústria. Diversos alimentos como pães, bolos, macarrão, massas e sorvetes já foram adicionados deste subproduto sem afetar as propriedades funcionais, sensoriais e de textura de forma significativa (GUL et al., 2015; KAUR et al., 2012; MENDES et al., 2021; PHIMOLSIRIPOL; MUKPRASIRT; SCHOENLECHNER, 2012; YOUNAS et al., 2011). Contudo, por causa do alto teor de gordura e da ação da enzima lipase, que entra em contato com a gordura quando as células são rompidas pela retirada do farelo, a rancidez pode ocorrer neste subproduto. Assim, diferentes técnicas para estabilização (enzimática) podem ser utilizadas para aumentar a vida útil do farelo de arroz, como tratamento ácido ou alcalino suave, cozimento, extrusão, tostamento/torrefação, uso de micro-ondas, aquecimento ôhmico, calor seco, radiação gama, infravermelho, autoclavagem (GUL et al., 2015; PUNIA et al., 2021b).

O psyllium, por sua vez, é uma mucilagem derivada das sementes de plantas do gênero *Plantago*, sendo a espécie mais importante *Plantago ovata*. Esse é obtido por moagem mecânica e constitui-se como uma fonte de fibras, predominantemente solúveis (85%). Ele possui uma alta capacidade de absorção de água e de geleificação e, assim, promove uma modificação da textura quando adicionado a alimentos estabilizando emulsões e aumentando a viscosidade. Geralmente, esta fonte de fibra não altera o sabor do produto (FRADINHO; NUNES; RAYMUNDO, 2015; FRANCO et al., 2020). Quando comparado a outras fibras solúveis, o psyllium é menos fermentado e, portanto, causa menor inchaço abdominal (JANE; MCKAY; PAL, 2019).

Muitos benefícios são associados ao consumo de psyllium, como a redução do colesterol, da hipertensão arterial, da absorção de gordura e do risco de doenças cardiovasculares, a melhoria dos perfis lipídicos no sangue, o aumento de saciedade, a regulação do intestino e a prevenção da constipação (CORREA, 2014; JANE; MCKAY; PAL, 2019). A Instrução Normativa nº 28, de 26 de julho de 2018 (BRASIL, 2018), permite o uso de

alegação referente ao psyllium na rotulagem dos suplementos alimentares. A alegação autorizada é de que o psyllium auxilia na redução do colesterol sanguíneo, sendo o requisito necessário para se utilizar essa informação no rótulo que os suplementos alimentares forneçam no mínimo 7 g de fibra de psyllium na recomendação diária de consumo.

Portanto, a adição de fibras a produtos de panificação vai ao encontro da tendência de busca por alimentos saudáveis registrada no mercado, podendo conferir benefícios à saúde, e traz diversidade de produtos alimentícios disponíveis para que o consumidor alcance a ingestão diária recomendada para fibras. Ressalta-se ainda que a fibra alimentar pode auxiliar na prevenção doenças de forma mais eficiente quando é combinada com outros ingredientes de grãos integrais (CHENG et al., 2021).

3.3 Alimentos integrais

Os grãos são matérias-primas básicas para satisfazer as necessidades nutricionais dos seres humanos, sendo que os grãos refinados são os mais utilizados e consumidos (ZHANG et al., 2021). A produção de farinhas envolve diversos processos. O descascamento dos grãos é a primeira etapa, quando for o caso, seguido da moagem que é uma das principais transformações aplicadas na maioria dos cereais. Em seguida, pode ser realizada a redução do tamanho de partícula para separação do farelo. Em alguns casos, como nos grãos de arroz, esta etapa não é requerida, visto que o farelo e o gérmen são removidos por abrasão. Posteriormente, a farinha, a sêmola ou o endosperma intacto podem ser submetidos a processos como fermentação, extrusão, aquecimento, fervura, resfriamento, dentre outros (SEAL et al., 2021).

Perdas significantes de nutrientes ocorrem durante o processo de produção das farinhas refinadas (ABDULLAH et al., 2022). O processo de refinamento de grãos promove a retirada do gérmen e farelo restando praticamente apenas o endosperma, uma mistura de amido e proteínas. Consequentemente, diminui-se a quantidade de fibra alimentar, compostos bioativos e micronutrientes. Dessa forma, o uso de cereais integrais na fabricação de alimentos tem aumentado por serem mais interessantes do ponto de vista nutricional (DIAS-MARTINS et al., 2018; MA et al., 2022; PRASADI; JOYE, 2020; ZHANG et al., 2021).

Os cereais integrais possuem o endosperma amiláceo, o farelo e o gérmen presentes nas mesmas proporções relativas que existem na cariopse intacta e, assim, são fontes de fibras alimentares; fitoquímicos polifenólicos, como fenóis, flavonoides e carotenoides (luteína, zeaxantina e β -criptoxantina); vitaminas, como B e E, e minerais, como selênio, zinco, ferro, cobre, magnésio, fósforo, potássio e manganês, uma vez que a maiorias desses nutrientes se

concentram no farelo (DREWNOWSKI et al., 2021; LIU et al., 2021; SANDERS et al., 2021; SEAL et al., 2021; TAN; WU; ZHAI, 2021; ZHANG et al., 2021). Os fitoquímicos podem apresentar papel antioxidante no intestino ou ter efeito direto de sinalização celular se metabolizados e absorvidos (DREWNOWSKI et al., 2021). Desse modo, qualquer alimento produzido com cereais integrais ao invés de cereais refinados também possuirá maior quantidade desses nutrientes e fitoquímicos. Pessoas que consomem altas quantidades de grão integrais são mais propensas a atingir a ingestão diária recomendada de fibras alimentares e micronutrientes melhorando a qualidade da dieta (SEAL et al., 2021).

O consumo de cereais integrais e/ou produtos integrais tem sido relacionado à redução do risco de doenças crônicas, como doenças cardiovasculares, diabetes, hiperlipidemia e hiperglicemia, hipertensão e alguns tipos de câncer, a efeitos benéficos no sistema imunológico e na microbiota intestinal, ao retardo da digestão e absorção de carboidratos, criando efeito de depleção no índice glicêmico, a melhorias nos perfis lipídicos (ARSLAN-TONTUL et al., 2022; CAO et al., 2021; DREWNOWSKI et al., 2021; KAMP et al., 2022; LIU et al., 2021; PAESANI; BRAVO-NÚÑEZ; GÓMEZ, 2021; TAN; WU; ZHAI, 2021). A ingestão de grãos integrais juntamente com fibras alimentares provenientes de cereais também tem sido associada a um papel significativo na saúde intestinal e na modulação da microbiota intestinal (DREWNOWSKI et al., 2021). O consumo dos grãos integrais contribui para resultados benéficos à saúde, mas não pode ser considerado a única razão, visto que a maioria das pessoas que os consomem também seguem um estilo de vida saudável e fisicamente ativo, inclusive fumando pouco e ingerindo baixas quantidades de bebidas alcoólicas (SEAL et al., 2021).

O mercado de ingredientes e alimentos integrais está em crescimento em todo o mundo, incluindo, inclusive, grãos menos conhecidos e populares, como quinoa, painço, amaranto, teff, milheto, espelta. Em consequência deste crescimento, países como a Malásia e o Brasil publicaram há pouco tempo definições para alimentos integrais (KAMP et al., 2022).

Até 2021 não havia uma legislação brasileira que definisse quando os alimentos contendo cereais e pseudocereais poderiam ser classificados como integrais. Desta maneira, encontrava-se uma grande quantidade de produtos no mercado com essa alegação sem definição de critérios. Quando isso ocorre, os produtores têm a possibilidade de declarar que o alimento possui aquela característica sem limitações, podendo levar o consumidor à confusão por informações inconsistentes devido à falta de padrão entre os diferentes produtos. Assim, regulamentações de rotulagem claras eram necessárias para padronização desses alimentos (KISSOCK; NEALE; BECK, 2022).

Em 2020, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) submeteu à consulta pública, para comentários e sugestões do público em geral, uma proposta (Consulta Pública nº 811, de 6 de abril de 2020) de RDC sobre os requisitos para identificação como integral e para destaque dos ingredientes integrais na rotulagem dos alimentos contendo cereais (BRASIL, 2020). Após realização e análise da consulta pública, no dia 15 de abril de 2021, foi publicada a RDC nº 493 pela ANVISA (BRASIL, 2021) que estabelecia os requisitos de composição e rotulagem dos alimentos contendo cereais para classificação e identificação como integral e, desse modo, foram estabelecidos critérios para esses alimentos. Ressalta-se que na consulta pública não havia menção ao milheto como ingrediente integral, porém, conforme sugestões, este cereal foi inserido na RDC publicada.

Em 2022, essa legislação foi revisada e então revogada pela RDC nº 712, de 1º de julho de 2022 (BRASIL, 2022b). Segundo a RDC nº 712, de 1º de julho de 2022, os ingredientes integrais são

cariopses intactas de alpeste, amaranto, arroz, arroz selvagem, aveia, centeio, cevada, fonio, lágrimas-de-Jó, milheto, milho, painço, quinoa, sorgo, teff, trigo, trigo sarraceno e tritcale, ou qualquer derivado quebrado, trincado, flocado, moído, triturado ou submetido a outros processos tecnológicos considerados seguros para produção de alimentos, cujos componentes anatômicos - endosperma amiláceo, farelo e gérmen - estão presentes na proporção típica que ocorre na cariopse intacta (BRASIL, 2022, p. 1).

Para que um alimento contendo cereais e pseudocereais seja classificado como integral, o produto exposto à venda deve possuir no mínimo 30% de ingredientes integrais e a quantidade dos ingredientes integrais deve ser superior à quantidade dos ingredientes refinados. A denominação de venda desse produto pode ser acompanhada da palavra integral desde que a proporção total dos ingredientes integrais seja declarada na denominação de venda, com caracteres do mesmo tipo, tamanho e cor (BRASIL, 2022b).

3.4 Milheto

Cereais como arroz, milho e trigo representam uma parcela expressiva da produção global de alimentos, enquanto outros, como sorgo e milheto, ainda são culturas subutilizadas na maioria dos países europeus, norte-americanos e sul-americanos. No entanto, esses cereais sem glúten já são amplamente utilizados como alimentação humana em países africanos e asiáticos, considerados importantes para a segurança alimentar, pois são nutricionalmente ricos e resistentes a condições adversas (CHATURVEDI et al., 2022; CHÁVEZ et al., 2018; DIAS-

MARTINS et al., 2018; HOSSAIN et al., 2022; JUKANTI et al., 2016; MAWOUMA et al., 2022).

O *millet* é a sexta cultura mais produzida do mundo, com uma produção mundial que gira em torno de 31 milhões de toneladas (BANGAR et al., 2021; PESSANHA et al., 2021). No Brasil, para o milheto não há dados oficiais de produção anual, mas a área plantada aproximada é de 5 milhões de ha, com produtividade variando de 500 a 1.500 kg.ha⁻¹. Essa produção é basicamente destinada à alimentação animal e cobertura do solo. (DIAS-MARTINS et al., 2018; EMBRAPA, 2023). O país importa anualmente cerca de 6,3 milhões de toneladas de trigo, pois a produção anual de 9,7 milhões de toneladas (CONAB, 2022) não é suficiente para suprir a demanda nacional de 12,7 milhões de toneladas (CONAB, 2022), principalmente pela indústria de panificação. Assim, o consumo de alimentos industrializados produzidos com milheto seria uma estratégia de soberania alimentar, reduzindo consequentemente a necessidade de importação de matérias-primas e diversificando a produção alimentar nacional.

A palavra *millet* é derivada de “mille” que significa mil grãos e é utilizada para designar grãos de pequeno tamanho pertencentes à família *Poaceae*. Assim, o termo genérico *millet* engloba grãos de tamanho pequeno e diferentes espécies, como o *pearl millet* (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), *finger millet* (*Eleusine coracana* (L.) Gaertn), *foxtail millet* (*Setaria italica* (L.) Beauv), *proso millet* (*Panicum miliaceum* L.), *kodo millet* (*Paspalum scrobiculatum* L.), *little millet* (*Panicum sumatrense* Roth ex Roem. & Schult), *barnyard millet* (*Echinochloa utilis*), dentre outros. Apesar de existirem diversas variedades de *millet*s, a espécie mais produzida é a *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. (*pearl millet*), que corresponde a aproximadamente a metade da produção mundial de *millet*s (ADEBIYI et al., 2017; BRASIL et al., 2015; DIAS-MARTINS et al., 2018; JUKANTI et al., 2016; WANG et al., 2019; YADAV; DALBHAGAT; MISHRA, 2022).

A espécie *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. tem nomes diferentes ao redor do mundo. Por exemplo, no sul do Brasil é conhecida como milheto-pérola, capim-charuto e pasto-italiano; nos Estados Unidos como *pearl millet*, *bulrush Millet* e *cattail millet*; na Europa como *candle millet* e *dark millet*. O milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) é consumido em países africanos e asiáticos, principalmente na Índia, em diversas preparações de alimentos tradicionais destes locais, como mingaus, cuscuz, pães sírios (*flatbreads*), doces, bebidas fermentadas não alcoólicas e alcoólicas (cerveja), além do consumo do grão inteiro cozido (DIAS-MARTINS et al., 2018; OLIVEIRA, 2013). Na África do Sul, é cultivado para subsistência de pequenos agricultores, porém, a sua utilização vem se aprimorando (ADEBIYI

et al., 2017). No Brasil, ele não é usado para alimentação humana, mas é um ingrediente importante para alimentação de bovinos confinados, aves e suínos. Dessa forma, é considerado um cereal subutilizado (BRASIL et al., 2015; PESSANHA et al., 2021). Na Figura 1 podem ser observados grãos integrais de milheto:

Figura 1 – Grãos integrais de milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) ADRG 9070 (Atto Sementes®)



Fonte: Registro da autora.

O *pearl millet* possui um baixo custo de produção (aproximadamente 40% inferior ao preço do milho) e pode ser colhido após 45 dias do plantio (DIAS-MARTINS et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2021). Ele é classificado como cereal C4, ou seja, absorve mais CO₂ e converte em O₂ demandando menos insumos. Assim, ele apresenta elevada eficiência na utilização de água (KUMAR et al., 2022; PUNIA et al., 2021a).

O milheto possui sementes de 1,2-1,8 mm de diâmetro e tegumento de cor marrom-avermelhado claro com superfície ondulada (BRASIL et al., 2015). Esse cereal é tolerante a condições adversas como altas temperaturas, áreas secas, salinidade e infertilidade do solo, nas quais outras culturas normalmente não se desenvolveriam, e, por isso, produz uma grande quantidade de grãos (DIAS-MARTINS et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2021; PUNIA et al., 2021a).

Os grãos de milheto são uma fonte de calorias e apresentam rica composição nutricional abrangendo carboidratos, fibras, proteínas, aminoácidos contendo enxofre, micronutrientes essenciais, minerais como ferro, cálcio e magnésio, vitaminas como ácido fólico (B9), fitoquímicos com potencial nutracêutico e compostos fenólicos (ácidos fenólicos e flavonoides), estes últimos responsáveis pela capacidade antioxidante (ADEBIYI et al., 2016, 2017; BRASIL et al., 2015; DIAS-MARTINS et al., 2018; KUMAR et al., 2022; WANG et al., 2019). Este cereal é isento de glúten e possui teores de nutrientes semelhantes ou até superiores

a outros cereais. Por exemplo, ele é equivalente ao milho e superior ao sorgo em relação ao teor e qualidade proteica, relação proteína-eficiência e níveis de energia metabolizável (BRASIL et al., 2015; DIAS-MARTINS et al., 2018; OLIVEIRA, 2013; PESSANHA et al., 2021). Além disso, o milheto não contém taninos. Suas frações proteicas consistem principalmente em albumina e globulina, que apresentam boa digestibilidade. Ele apresenta também alto teor de carboidratos complexos (amido), aminoácidos essenciais e ácidos graxos poli-insaturados, que incluem o ácido linolênico ($\omega 3$) (DIAS-MARTINS et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2021).

Os grãos de milheto são ricos em fibras alimentares (95% da fibra alimentar está presente no farelo) e polifenóis, que podem reduzir a ocorrência de doenças cardiovasculares, estresse oxidativo, risco de envelhecimento relacionado a doenças crônicas, esvaziamento gástrico retardado, distúrbios lipídicos, hiperglicemia, dentre outros. Assim, o uso da sua farinha de forma integral pode contribuir para menor índice glicêmico, importante para controle de diabetes tipo 2 (DIAS-MARTINS et al., 2018; PESSANHA et al., 2021; WANG et al., 2019). O teor médio de fibras varia de 8 a 9 g/100 g, sendo que 90% das fibras são insolúveis. Os ácidos fenólicos encontrados no milheto são os ácidos p-hidroxibenzóico, ácido gálico, vanílico, cafeico, ferúlico, sinápico e p-cumárico (PESSANHA et al., 2021).

O amido constitui cerca de 70% do grão de milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.) e se caracteriza como uma fonte sustentável e mais barata, podendo ser uma opção alternativa de uso em comparação com as principais fontes de amido como o milho, arroz e batata. A ausência de industrialização do milheto faz com que ele seja uma fonte mais economicamente viável para o isolar amido, que pode ser aplicado tanto nativo como modificado (BANGAR et al., 2021; DANGI; YADAV; YADAV, 2019; PUNIA et al., 2021a). O amido tem várias aplicações em produtos alimentícios, podendo atuar como espessante, surfactante, emulsificante, dentre outros. A crescente demanda de amido no mercado tem levado ao interesse de utilização de novas fontes (PUNIA et al., 2021a).

A adição de cereais sem glúten, como o milheto, em produtos de panificação potencializa os benefícios nutricionais que incluem a melhoria dos níveis de colesterol, promoção da saúde digestiva e aumento dos níveis de energia (MARTINS et al., 2021). Dessa forma, o desenvolvimento de produtos utilizando o milheto se mostra como uma oportunidade para valorização da cultura que é subutilizada, incremento do perfil nutricional dos alimentos e para aplicação em produtos saudáveis e/ou sem glúten, que vem se tornando cada vez mais demandados no mercado (ADEBIYI et al., 2016). O milheto pode ser utilizado para fabricação de produtos de panificação tanto como um substituto de outras farinhas, como a de trigo, quanto

como um ingrediente adicional nas formulações, principalmente com o objetivo de melhorar o conteúdo nutricional. Na Tabela 1 podem ser observados alguns exemplos de estudos que avaliaram produtos de panificação produzidos com o milho e as suas principais características.

Tabela 1 – Produtos de panificação feitos com farinha de milho e os principais resultados encontrados

Produtos	Principais resultados	Referências
Biscoitos de milho (farinha fermentada e malteada)	Aumento da dureza e funcionalidade (aumento da capacidade de inchamento, absorção de óleo e água da farinha) Aceitação sensorial satisfatória	Adebiyi et al. (2017)
Pão misto (1:1 farinha de trigo e farinha de milho)	Melhor qualidade nutricional e funcionalidade (aumento do conteúdo de fenólicos, atividade antioxidante e volume específico e redução da dureza do miolo)	Wang et al. (2019)
Mingau de farinha de milho extrudada	Vida útil prolongada e desenvolvimento reduzido de rancidez da farinha	Onyeoziri et al. (2021)
Snacks produzidos com grãos de milho e farinha de milho integral	Alto teor de fibras Fonte de proteínas Aceitação sensorial satisfatória	Oliveira et al. (2021)
Flocos extrudados produzidos a partir de uma mistura de farinhas de milho (80 a 100%) e de cenoura (0 a 20%)	Maior teor de cinzas (85:15) Maior teor de proteína e gordura (100:0) Sem diferenças na aceitação sensorial	Adebanjo et al. (2020)
Pão integral de farinha de milho crua (100%), farinha de milho pré-cozida (100%) e mistura 1:1	A extrusão não alterou o valor nutricional e aumentou a capacidade antioxidante e inibição enzimática	Pessanha et al. (2021)
Cookies produzidos com milho (<i>pearl millet</i>), soja, <i>finger millet</i> e amendoim	Maior teor de fibras, proteínas, gorduras e cinzas Aceitação sensorial satisfatória	Radhika et al., (2019)
Macarrão feito com milho (<i>pearl millet</i>), soja e <i>finger millet</i>	Maior teor de fibras, proteínas, gorduras e cinzas Formulação mais aceita: 30% de milho, 35% de milho e 35% de soja	Radhika et al. (2019)
Pão produzido com farinha de trigo adicionada de 10 a 40% de farinha de milho parcialmente refinada	Teores de cinzas, fibras e carboidratos aumentaram com a adição de farinha de milho	Nehra et al. (2021)

A adição de 40% reduziu as notas de avaliação sensorial (sabor, gosto amargo e cor mais escura)
 A adição de 20% de farinha de milho apresentou as melhores notas sensoriais para todos os atributos

Fonte: Elaborado pela autora.

Um dos produtos tradicionais de milho mais consumidos na África e na Índia é o mingau. Este é produzido principalmente de forma artesanal ou em pequena escala e pode ser preparado com farinhas de milho submetidas a diferentes tratamentos (DIAS-MARTINS et al., 2018). Onyeoziri et al. (2021) realizaram o cozimento por extrusão de grãos de milho integrais e decorticados a fim de produzir farinhas instantâneas para produção de mingau de milho pronto para consumo. A avaliação sensorial foi realizada por um painel treinado a fim de descrever os mingaus de milho. Um total de 44 atributos foram gerados pelo painel descritivo treinado, incluindo aroma, aparência, sabor, textura na boca e atributos de sabor residual, para descrever os mingaus de milho e todos diferenciaram as amostras em algum grau. Os mingaus de farinhas extrudadas foram caracterizados por aromas agradáveis e semelhantes a cereais ao longo do armazenamento em ambas as temperaturas avaliadas (25 °C e 40 °C), enquanto os mingaus de farinhas cruas armazenados a 25 °C foram caracterizados por atributos de aromas e sabores do tipo rançoso. Além disso, a tecnologia de cozimento por extrusão estendeu a vida útil, melhorou o aroma e o sabor das farinhas de milho, pois retardou o desenvolvimento da rancidez, e melhorou os perfis de aroma de mingaus integrais e decorticados com o desenvolvimento de aromas que são desejáveis em produtos de cereais cozidos.

A farinha de milho pode ser utilizada na reformulação de produtos de panificação por substituição parcial ou total da farinha de trigo. As características dos produtos reformulados devem ser avaliadas, pois a redução do glúten pode causar efeitos tecnológicos indesejáveis na textura, cor, sabor e aroma. Pessanha et al. (2021) produziram pães integrais utilizando 100% de farinha de milho integral crua, 100% de farinha de milho pré-cozida (extrudada) e 50% de cada. Eles avaliaram os pães desenvolvidos e os compararam com pão comercial sem glúten e pão integral. O pão elaborado apenas com a farinha crua apresentou valor de dureza próximo ao pão comercial sem glúten. Ao utilizar a mistura das farinhas crua e pré-cozida, obteve-se menor dureza e maior volume específico em relação ao pão elaborado com farinha crua e valores de dureza próximos ao pão integral comercial. Neste estudo, uso da extrusão não alterou o valor nutricional dos pães e aumentou a capacidade antioxidante e inibição enzimática

(atividade anti-hipoglicêmica *in vitro* superior ao hipoglicemiante utilizado). Os autores observaram que o uso do milheto pode ser viável para obter formulações de pães sem glúten com características desejadas.

Adebiyi et al. (2017) estudaram os efeitos da fermentação e malteação em farinhas de milheto e biscoitos à base de milheto (100% do cereal) e avaliaram a aceitabilidade sensorial destes. Os autores identificaram que a fermentação e a malteação melhoraram a composição nutricional da farinha de milheto e dos biscoitos pelo aumento do valor energético e dos teores de carboidratos, fibras, proteínas, aminoácidos essenciais e não essenciais. Os biscoitos apresentaram boa aceitabilidade sensorial, sendo que o mais aceito foi o biscoito feito com a farinha malteada (melhor aroma, sabor e impressão global). Com relação às propriedades físico-químicas das farinhas e dos biscoitos, estas foram modificadas e melhoradas pela fermentação e malteação, com aumento da capacidade de intumescimento, absorção de óleo e de água, sensação na boca e retenção do sabor, e maior dureza e funcionalidade dos biscoitos (ADEBIYI et al., 2016).

Radhika et al. (2019) desenvolveram biscoitos e massas sem glúten incorporando *pearl millet*, soja, *finger millet* e amendoim em diferentes proporções. Os ingredientes apresentaram composição nutricional rica em fibras, proteínas, gordura e minerais. Consequentemente, os autores verificaram que a adição destas matérias-primas aumentou os teores desses nutrientes nas formulações de cookies e massas em relação ao controle (produzido apenas com farinha de trigo). Todas as formulações desenvolvidas foram aceitas sensorialmente pelos avaliadores, mas a formulação de cookies que continha os quatro ingredientes na mesma proporção foi a que obteve maiores notas de aceitação. Já para as massas, a formulação mais aceita foi a que continha 30% de farinha de *pearl millet*, 35% de *finger millet* e 35% de soja.

Nehra et al. (2021) desenvolveram pães com farinha de trigo adicionada de 10, 20, 30 e 40% de farinha de milheto. Os teores de cinzas, fibras e carboidratos dos pães aumentaram com a adição da farinha de milheto. Na avaliação sensorial, uma pontuação satisfatória foi encontrada com a adição de até 30% de farinha de milheto. A adição de 40% provocou redução das notas de avaliação sensorial para os atributos avaliados, com características como cor mais escura e sabor levemente amargo. Dessa forma, a adição de até 30% de farinha de milheto propiciou características nutricionais, antioxidantes e sensoriais aceitáveis.

Portanto, a partir da literatura científica percebe-se que os grãos de milheto podem ser utilizados para produção de diferentes produtos alimentícios obtendo características nutricionais, tecnológicas e sensoriais satisfatórias.

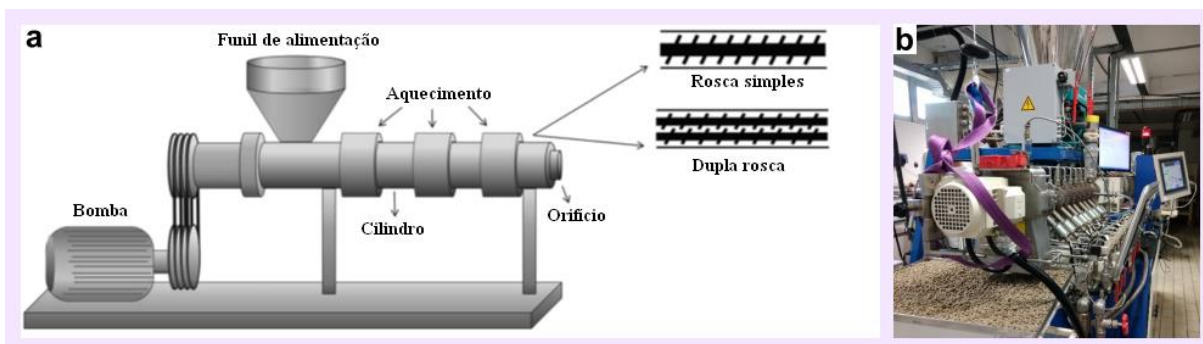
As Nações Unidas declararam 2023 como o Ano Internacional do Milheto com o objetivo de aumentar a conscientização pública e o investimento em pesquisas sobre a contribuição do milheto para a segurança alimentar, nutrição e benefícios para a saúde (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO, 2023). Desse modo, o uso dos grãos de milheto na alimentação humana no Brasil é uma oportunidade para estimular o desenvolvimento de novos produtos, com potencial para atender à demanda por produtos integrais, com e sem glúten (substituição parcial e total da farinha de trigo, respectivamente), e aumentar a quantidade de fibra alimentar em alimentos reformulados.

3.5 Extrusão termoplástica

Diversos tipos de processamento podem ser aplicados aos grãos de milheto, como moagem, decorticação, torrefação, cozimento, fermentação, maltagem, germinação, branqueamento, aquecimento ôhmico, irradiação e extrusão, visando melhorar ainda mais as propriedades físico-químicas, nutricionais, sensoriais e tecnológicas para obtenção de produtos alimentícios variados (DIAS-MARTINS et al., 2018, 2019; KUMARI et al., 2022; ONYEOZIRI et al., 2021; SELLADURAI et al., 2022; WANG et al., 2019). A extrusão é um processo com baixo consumo de energia e custo operacional, alta produtividade, tempos de processamento curtos e versatilidade. Ademais, pode ser considerada uma tecnologia limpa, pois apresenta nenhuma ou baixa geração de efluentes/resíduos (PASQUALONE et al., 2021; YADAV; DALBHAGAT; MISHRA, 2022; YANG et al., 2022).

O cozimento por extrusão termoplástica é um processo contínuo que se baseia na passagem forçada de uma matéria-prima amilácea por uma matriz ou um molde em condições de mistura, umidade, altas temperaturas e pressão por um curto período de tempo com a aplicação de uma tensão de cisalhamento. Ou seja, essa tecnologia envolve o efeito conjugado do cisalhamento térmico e mecânico (alta pressão, força de cisalhamento e temperatura) (DIAS-MARTINS, 2019; PESSANHA et al., 2021; TAN; WU; ZHAI, 2021; YADAV; DALBHAGAT; MISHRA, 2022). Quando o produto é liberado pelo orifício de saída da extrusora, a pressão é reduzida rapidamente e a água é evaporada provocando um abaixamento instantâneo da temperatura do alimento e sua consequente expansão, formando, assim, uma estrutura porosa (YANG et al., 2022). Na Figura 2 é possível observar o esquema de uma extrusora e uma imagem do equipamento.

Figura 2 – a) Esquema de uma extrusora. b) Extrusora da Embrapa Agroindústria de Alimentos



Fonte: a) Adaptado de Yi et al. (2022). b) Registro da autora.

Os parâmetros de extrusão como umidade e vazão de alimentação, temperatura do cilindro, pressão, velocidade e diâmetro da rosca, podem ser ajustados para alcançar as características de interesse para um determinado produto (YI et al., 2022). Por exemplo, o uso de condições de extrusão mais brandas (alto teor de umidade, baixas temperaturas e baixo tempo de residência) podem favorecer maior retenção de nutrientes e produzir alimentos com menor índice glicêmico (OTONDI; NDUKO; OMWAMBA, 2020). Assim, os produtos extrudados podem ser expandidos ou não expandidos. Os expandidos são caracterizados por alta geleificação, digestão rápida e textura crocante devido a um processo que utiliza altas temperaturas e baixa umidade. A extrusão em temperaturas mais baixas pode produzir alimentos com menores graus de geleificação, os extrudados não expandidos, mantendo os nutrientes e as características de digestão lenta dos grãos (YANG et al., 2020). Na Figura 2 é possível observar grãos de milho extrudados expandidos e não expandidos:

Figura 3 – a) Extrudado de milho não expandido produzido na Embrapa Agroindústria de Alimentos (RJ, Brasil). b) extrudado expandido de milho



Fonte: a) Registro feito pela autora. b) Registro gentilmente cedido pelo pesquisador Dr. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho da Embrapa Agroindústria de Alimentos (RJ, Brasil).

O processo de extrusão pode promover diversas alterações bioquímicas, como a geleificação do amido, a fusão e a degradação dos grânulos de amido, a desnaturação de proteínas, formação de complexos entre amilose e lipídios, reações de escurecimento, o rompimento de ligações covalentes e pontes de hidrogênio e, conseqüentemente, uma alteração da estrutura, características e propriedades físico-químicas do alimento. Dessa forma, essa técnica agrega valor ao produto e é muito utilizada para fabricação de farinhas pré-gelatinizadas (pré-cozidas ou extrudadas), massas, macarrão instantâneo, alimentos infantis e *snacks* (DIAS-MARTINS, 2019; MENEGASSI et al., 2007; YADAV; DALBHAGAT; MISHRA, 2022; YI et al., 2022).

A tecnologia de extrusão proporciona diversos benefícios aos alimentos, como a inativação de enzimas; redução da carga microbiana e de fatores antinutricionais, como inibidores de tripsina, fitatos e taninos; melhoria da digestibilidade das proteínas; aumento da biodisponibilidade de minerais e ácidos fenólicos em grãos integrais; melhoria das características sensoriais dos produtos extrudados removendo o gosto amargo e modificações físico-químicas no amido, fibras e proteínas que podem ser úteis em relação às características tecnológicas e nutricionais exigidas para o desenvolvimento de alimentos para fins específicos (PESSANHA et al., 2021; TAN; WU; ZHAI, 2021; YADAV; DALBHAGAT; MISHRA, 2022; YI et al., 2022). A gordura presente no gérmen dos grãos, por exemplo, pode favorecer a ocorrência de rancidez. A aplicação da extrusão pode melhorar a estabilidade à essa reação

devido à inativação das enzimas lipolíticas (PAESANI; BRAVO-NÚÑEZ; GÓMEZ, 2021; YI et al., 2022).

Assim, a escolha de utilização de uma farinha extrudada para aplicação em produtos alimentícios se deve principalmente pela busca de melhorias tecnológicas do produto, uma vez que esta possui maior solubilidade e capacidade de absorção de água, maior estabilidade microbiológica e vida de prateleira devido à redução da umidade e atividade de água, além de contribuir para as características reológicas, reduzir o teor de fatores antinutricionais e não alterar significativamente a composição nutricional (DIAS-MARTINS, 2019; OLIVEIRA, 2013). Ademais, a extrusão aumenta o conteúdo de compostos bioativos nos produtos, uma vez que a tensão de cisalhamento desprende esses componentes da matriz de cereais (CAYRES et al., 2021).

Farinhas sem glúten geralmente produzem bolos com textura insatisfatória e baixo volume, quando comparadas à farinha de trigo, mas processos como tratamento térmico e extrusão podem promover uma melhoria da qualidade da massa e do bolo (XU et al., 2020). No processo de extrusão, ocorre a exposição de grupos hidroxila que aumenta a capacidade de absorção de água e a formação de complexos entre amido e proteínas fazendo com que as farinhas extrudadas possam apresentar propriedades viscoelásticas que simulam a rede de glúten (PESSANHA et al., 2021).

Na aplicação em bolos, como o processo de extrusão ocasiona a degradação e/ou pré-gelatinização do amido, isso faz com que a farinha tenha uma maior viscosidade a frio na massa. Logo, auxilia a reduzir a saída de gases durante o tempo de mistura da massa proporcionando um maior número de núcleos de gás para o desenvolvimento da estrutura do bolo (CAYRES et al., 2021).

3.6 Análise sensorial

O uso conjugado da farinha de trigo com farinhas de outros cereais pode ser uma estratégia para aumento do teor de proteínas, minerais, vitaminas, fibras alimentares, porém, sua aceitabilidade sensorial pode ser inferior quando comparado com uma formulação controle, elaborada apenas com farinha de trigo e, logo, é importante avaliar esta aceitação (ABDULLAH et al., 2022). O desenvolvimento de novos produtos requer a avaliação das características sensoriais dos alimentos. Mesmo que o produto tenha qualidade em relação às características químicas, físicas, nutricionais e microbiológicas, se este não atender às necessidades e desejos dos consumidores, provavelmente não haverá aceitação. Assim, a qualidade de um produto

alimentício está também diretamente relacionada à satisfação do consumidor (DELLA LUCIA; MINIM; CARNEIRO, 2013; NESPECA et al., 2021).

A análise sensorial é a ciência que estuda as percepções, sensações e reações do consumidor sobre as características dos alimentos da forma como são percebidas pelos cinco sentidos (visão, olfato, gosto, tato e audição) (DELLA LUCIA; MINIM; CARNEIRO, 2013; DUTCOSKY, 2011; RUIZ-CAPILLAS et al., 2021). Para que uma análise sensorial seja conduzida e obtenha máxima sensibilidade, reprodutibilidade e confiabilidade, deve-se seguir princípios básicos relacionados ao teste adequado ao tipo de resposta desejada; ao local e condições de realização dos testes; preparo, forma de apresentação, número, quantidade, temperatura, codificação e ordem de apresentação das amostras; balanceamento e delineamento; instrução e/ou treinamento dos avaliadores; horário e duração do teste; fichas de avaliação; tabulação dos dados e técnicas estatísticas para avaliação dos resultados (DE KOCK; MAGANO, 2020; DELLA LUCIA; MINIM; CARNEIRO, 2013; DUTCOSKY, 2011; RUIZ-CAPILLAS et al., 2021). A qualidade sensorial de um alimento é resultado da interação das características do alimento, como sabor, textura, aparência, aroma; do ser humano, como idade, sexo, renda, nível de escolaridade, alergias e doenças; e do ambiente em que se encontra, como grau de urbanização, estação do ano, ambiente de trabalho (DELLA LUCIA; MINIM; CARNEIRO, 2013; DUTCOSKY, 2011).

Os métodos sensoriais podem ser classificados em testes discriminativos (discriminatórios ou de diferença), afetivos e descritivos. Os testes discriminatórios identificam a diferença qualitativa e/ou quantitativa entre as amostras (DELLA LUCIA; MINIM; CARNEIRO, 2013; DUTCOSKY, 2011; RUIZ-CAPILLAS et al., 2021). Já os testes afetivos são utilizados para expressar a opinião dos consumidores (aceitação, preferência e/ou intenção de compra) em relação a um produto. Também podem ser chamados de testes de consumidores e não necessitam de treinamento dos avaliadores. Eles podem ser utilizados para identificar alimentos com menor aceitação e reduzir o número de amostras em pesquisas de mercado da indústria (DELLA LUCIA; MINIM; CARNEIRO, 2013; RUIZ-CAPILLAS et al., 2021).

Os testes de aceitação são testes afetivos que têm como intuito identificar se os avaliadores gostam ou desgostam de um determinado produto por meio do uso de escalas balanceadas (mesmo número de categorias positivas e negativas e igualmente espaçadas) ou não balanceadas (mais termos do lado positivo e mais espaçados). As escalas mais usadas para medir a aceitação são a hedônica, a de atitude e a do ideal (REIS; MINIM, 2013).

A escala hedônica expressa a aceitação por um produto numa escala gradativa com base nos atributos gosta e desgosta e pode apresentar de cinco a nove pontos, sendo a de nove pontos a mais utilizada para adultos e as de cinco a sete pontos mais usadas para crianças a fim de facilitar a compreensão. Essa escala pode ser verbal (palavras ou frases apropriadas, como de gostei muitíssimo a desgostei muitíssimo), facial (usada para o público infantil ou pessoas que não conseguem ler) que apresenta figuras de expressões faciais, ou não estruturada, que apresenta uma linha com o termo “desgostei extremamente” na esquerda e “gostei extremamente” na direita sem divisões internas. Já a escala de atitude avalia a atitude do consumidor em relação à frequência de consumo do produto em um dado período. Por fim, a escala do ideal ou *just about right* tem como objetivo verificar qual a intensidade de um atributo sensorial é desejada ou considerada ideal em um produto para o consumidor (DUTCOSKY, 2011; REIS; MINIM, 2013). O número de avaliadores representativos para um teste de aceitação deve ser de no mínimo 60 pessoas (RUIZ-CAPILLAS et al., 2021).

O grupo focal ou grupo de foco é um teste afetivo qualitativo utilizado quando se deseja obter informações sobre um determinado objeto de estudo e se baseia na discussão em grupo em uma sessão de uma a duas horas, geralmente com seis a 10 pessoas, conduzida por um moderador. Nele, o grupo pode se expressar livremente sobre o assunto e o moderador deve facilitar a troca de comentários com técnicas de dinâmica de grupo e direcionar o foco da discussão a fim de conseguir o maior número de informações e detalhes sobre o tema em debate sob o ponto de vista dos participantes. A sessão é gravada e não existem escalas ou análises estatísticas para esse método (DELLA LUCIA; MINIM; CARNEIRO, 2013; DUTCOSKY, 2011).

Os métodos descritivos, por sua vez, fornecem informações sobre as características sensoriais de um alimento de forma qualitativa ou quantitativa. Além disso, ao serem aplicados junto com testes afetivos podem gerar resultados complementares que permitem verificar as propriedades sensoriais que definem a preferência dos consumidores e que são importantes para a aceitação de um novo produto, facilitando a introdução e o posicionamento estratégico no mercado (ALCANTARA; FREITAS-SÁ, 2018; NESPECA et al., 2021). Contudo, os métodos descritivos convencionais demandam tempo prolongado para treinamento dos avaliadores, definição de materiais de referência que possam expressar as percepções sensoriais e têm alto custo (ALCANTARA; FREITAS-SÁ, 2018; DELLA LUCIA; MINIM; CARNEIRO, 2013; PEARSON et al., 2020).

Dessa forma, devido aos desafios das metodologias descritivas tradicionais, novas técnicas mais rápidas têm sido propostas e estudadas, como *check all that apply* (CATA), *rate all that apply* (RATA), *flash profile*, *sorting*, mapeamento projetivo ou sua variante *napping*, e posicionamento sensorial polarizado (ALCANTARA; FREITAS-SÁ, 2018; ALENCAR et al., 2019; PEARSON et al., 2020). Os métodos descritivos rápidos com consumidores vêm sendo muito utilizados para obter uma rápida caracterização de um novo produto. Estes testes têm menor custo e duração, não necessitam de treinamento e apresentam resultados de mapas/configurações sensoriais similares aos descritivos tradicionais (ALCANTARA; FREITAS-SÁ, 2018; CAYRES et al., 2020).

O teste CATA é um método descritivo rápido que tem se mostrado eficiente e tem sido utilizado em pesquisas de mercado com consumidores. Ele se baseia em apresentar uma lista de termos ou frases de fácil entendimento que descrevam o produto para que o consumidor selecione todos aqueles que ele acredita que se apliquem à amostra em estudo, sem nenhuma restrição ao número de itens que podem ser selecionados. Dessa forma, esse irá retratar o perfil do produto por meio das impressões dos consumidores, além de poder ser associado a testes afetivos indicando o porquê do grau de gostar ou não do produto (ARES; JAEGER, 2015; CAYRES et al., 2020; DI CAIRANO et al., 2022; VIGNEAU et al., 2022).

As principais vantagens do CATA são sua rapidez, simplicidade e eficiência em descrever e discriminar os produtos com alta correlação a técnicas com avaliadores treinados (ALCANTARA; FREITAS-SÁ, 2018). Além disso, a seleção de termos em uma lista é considerada uma tarefa intuitiva, fácil e espontânea para os consumidores. O número de avaliadores geralmente utilizados em questões CATA varia de 50 a 100, porém, quando são utilizadas junto com testes hedônicos recomenda-se pelo menos 100 consumidores (ARES; JAEGER, 2015).

Os termos da lista podem ser obtidos por um painel de avaliadores treinados, estudos qualitativos anteriores com consumidores, como um grupo focal, e/ou dados da literatura e podem incluir tanto atributos sensoriais dos produtos e termos hedônicos quanto características não sensoriais como ocasiões de uso, emoções, conceito e posicionamento do produto. Os termos devem ser diferentes, evitando sinônimos/antônimos, representar atributos sensoriais relevantes, ser de fácil compreensão para os consumidores, preferencialmente relacionados ao vocabulário que geralmente é utilizado por eles para descrever os produtos (ALCANTARA; FREITAS-SÁ, 2018; ARES; JAEGER, 2015; RODRIGUES; MAGALHAES; TRINDADE, 2022; RUIZ-CAPILLAS et al., 2021). A lista dos termos não deve ser muito curta e nem muito

extensa, pois listas curtas podem induzir o avaliador a marcar todos os itens disponíveis, já listas longas podem causar a tendência em marcar apenas os termos que aparecem primeiro sem uma análise crítica e cuidadosa de todas as palavras (ARES; JAEGER, 2015).

A ordem dos termos da lista também é importante e influencia as respostas dos avaliadores, sendo que os termos no topo da lista tendem a ser mais utilizados do que os que estão no final. Logo, utilizar os termos em uma ordem fixa para todos os consumidores e amostras podem influenciar os resultados. Sendo assim, a ordem deve ser balanceada inter (cada avaliador receberá a ficha com os termos em ordem diferente) e intra (cada amostra terá uma ordem diferente dos mesmos termos) participantes para minimizar a influência na resposta dos consumidores (ALCANTARA; FREITAS-SÁ, 2018; ARES; JAEGER, 2015).

A análise dos dados pode ser feita por meio de testes não paramétricos baseados na distribuição qui-quadrado ou análise de correspondência (ALENCAR et al., 2019). O teste estatístico Q de Cochran é utilizado para verificar as diferenças significativas entre os produtos para cada um dos termos da questão CATA (ALCANTARA; FREITAS-SÁ, 2018; ARES; JAEGER, 2015; VIGNEAU et al., 2022). Esse é um teste não paramétrico que verifica se os tratamentos (amostras) têm efeitos idênticos quando a variável de resposta é binária (marcou ou não marcou o termo descritor) e que é usado na análise de delineamentos de blocos aleatórios bidirecionais (ARES; JAEGER, 2015).

Dessa maneira, a escolha de acordo com o objetivo e a realização criteriosa dos testes sensoriais são fundamentais para obtenção de respostas confiáveis para a inserção de um novo produto no mercado. As indústrias de alimentos precisam utilizar as metodologias sensoriais adequadas para as respostas que estão procurando a fim de tomar decisões sobre os ingredientes, processos produtivos e desenvolvimento de seus novos produtos (DE KOCK; MAGANO, 2020).

3.7 Referências

ABDULLAH, M.; TUFAIL, T.; HUSSAIN, M.; NADEEM, M.; OWAIS, M.; ZULKIFFAL, M.; HAMMAD TANVEER, M.; AL JBAWI, E. Effect of sprouted barley flour on the quality wheat of bread, biscuits and cakes. **Cogent Food and Agriculture**, v. 8, p. 2122272, 2022.

ABIMAPI. **Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados. Estatísticas de mercado.** Disponível em: <https://www.abimapi.com.br/publicacoes-estatisticas.php>. Acesso em: 7 abr. 2023.

ADEBANJO, L. A.; OLATUNDE, G. O.; ADEGUNWA, M. O.; DADA, O. C.; ALAMU, E. O. Extruded flakes from pearl millet (*Pennisetum glaucum*) - carrot (*Daucus carota*) blended

flours- Production, nutritional and sensory attributes. **Cogent Food and Agriculture**, v. 6, n. 1, p. 1733332, 2020.

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**, v. 232, p. 210–217, 2017.

ADEBIYI, J. A.; OBADINA, A. O.; MULABA-BAFUBIANDI, A. F.; ADEBO, O. A.; KAYITESI, E. Effect of fermentation and malting on the microstructure and selected physicochemical properties of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) flour and biscuit. **Journal of Cereal Science**, v. 70, p. 132–139, 2016.

ADEMOSUN, O. T.; AJANAKU, C. O.; OLOYEDE, M. O.; OWOLABI, A. O.; AJAYI, S. O.; JONATHAN, H. O.; AJANAKU, K. O. Proximate and sensory evaluation of peanut cakes fortified with *Moringa oleifera* leaf powder. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1., 2021, [...]. IOP Publishing, 2021. v. 655, p. 012004.

AKTER, M.; ANJUM, N.; ROY, F.; YASMIN, S.; SOHANY, M.; MAHOMUD, M. S. Effect of drying methods on physicochemical, antioxidant and functional properties of potato peel flour and quality evaluation of potato peel composite cake. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 11, p. 100508, 2023.

ALCANTARA, M. de; FREITAS-SÁ, D. de G. C. Metodologias sensoriais descritivas mais rápidas e versáteis – uma atualidade na ciência sensorial. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, p. e2016179, 2018.

ALENCAR, N. M. M.; RIBEIRO, T. G.; BARONE, B.; BARROS, A. P. A.; MARQUES, A. T. B.; BEHRENS, J. H. Sensory profile and check-all-that-apply (CATA) as tools for evaluating and characterizing syrah wines aged with oak chips. **Food Research International**, v. 124, p. 156–164, 2019.

ANDRADE, F. O.; FONSECA, A. C. C.; DIAS-MARTINS, A. M.; GONÇALVES, A. C. A.; DA SILVA, W. A.; RODRIGUES, J. F.; ALENCAR, N. M. M.; DE CARVALHO, C. W. P.; TROMBETE, F. M.; SILVA, D. R. G. Consumer's perceptions of chicken meatballs with partial fat replacement by whole precooked pearl millet flour. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 49909–49923, 2021.

ARES, G.; JAEGER, S. R. Check-all-that-apply (CATA) questions with consumers in practice: Experimental considerations and impact on outcome. In: DELARUE, J.; LAWLOR, J. BEN; ROGEAUX, M. **Rapid Sensory Profiling Techniques and Related Methods: Applications in New Product Development and Consumer Research**. [s.l.] Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 2015. p. 227–245.

ARSLAN-TONTUL, S.; CANDAL USLU, C.; MUTLU, C.; ERBAŞ, M. Expected glycemic impact and probiotic stimulating effects of whole grain flours of buckwheat, quinoa, amaranth and chia. **Journal of Food Science and Technology**, v. 59, n. 4, p. 1460–1467, 2022.

ÁVILA, B. P.; BRAGANCA, G. C. M.; ROCKENBACH, R.; ALVES, G. D.; MONKS, J.; GULARTE, M. A.; ELIAS, M. C. Physical and sensory characteristics of cake prepared with six whole-grain flours. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, n. 3, p. 1486–1492, 2017.

BAI, X.; ZHANG, M.-L.; ZHANG, Y.; ZHANG, J.; ZHANG, Y.; WANG, C.; LIU, R. Effects of Steaming, Microwaving, and Hot-Air Drying on the Physicochemical Properties and Storage Stability of Oat Bran. **Journal of Food Quality**, v. 2021, p. 1–9, 2021.

BANGAR, S. P.; NEHRA, M.; SIROHA, A. K.; PETRU, M.; ILYAS, R. A.; DEVI, U.; DEVI, P. Development and characterization of physical modified pearl millet starch-based films. **Foods**, v. 10, n. 7, p. 1609, 2021.

BAUMGARTNER, B.; ÖZKAYA, B.; SAKA, I.; ÖZKAYA, H. Functional and physical properties of cookies enriched with dephytinized oat bran. **Journal of Cereal Science**, v. 80, p. 24–30, 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Instrução Normativa nº 28, de 26 de julho de 2018. Estabelece as listas de constituintes, de limites de uso, de alegações e de rotulagem complementar dos suplementos alimentares. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. 27 jul. 2018. Seção 1, p. 141.

BRASIL. Ministério da Saúde. Consulta Pública nº 811, de 6 de abril de 2020. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. 8 abr. 2020. Seção 1, p. 124.

BRASIL. Ministério da Saúde. RDC nº 493, de 15 de abril de 2021. Dispõe sobre os requisitos de composição e rotulagem dos alimentos contendo cereais para classificação e identificação como integral e para destaque da presença de ingredientes integrais. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. 22 abr. 2021. Seção 1, p. 236.

BRASIL. Ministério da Saúde. RDC nº 711, de 1º de julho de 2022. Dispõe sobre os requisitos sanitários dos amidos, biscoitos, cereais integrais, cereais processados, farelos, farinhas, farinhas integrais, massas alimentícias e pães. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. 6 jul. 2022a. Seção 1, p. 183.

BRASIL. Ministério da Saúde. RDC nº 712, de 1º de julho de 2022. Dispõe sobre os requisitos de composição e rotulagem dos alimentos contendo cereais e pseudocereais para classificação e identificação como integral e para destaque da presença de ingredientes integrais. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. 6 jul. 2022b. Seção 1, p. 193.

BRASIL, T. A.; CAPITANI, C. D.; TAKEUCHI, K. P.; FERREIRA, T. A. P. de C. Physical, chemical and sensory properties of gluten-free kibbeh formulated with millet flour (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.). **Food Science and Technology**, v. 35, n. 2, p. 361–367, 2015.

CAO, Z.; LIU, Y.; ZHU, H.; LI, Y.; XIAO, Q.; YI, C. Effect of soy protein isolate on textural properties, cooking properties and flavor of whole-grain flat rice noodles. **Foods**, v. 10, n. 5, 2021.

CAYRES, C. A.; ASCHERI, J. L. R.; COUTO, M. A. P. G.; ALMEIDA, E. L. Impact of pregelatinized composite flour on nutritional and functional properties of gluten-free cereal-based cake premixes. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 15, n. 1, p. 769–781, 2021.

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

CHATURVEDI, P.; GOVINDARAJ, M.; GOVINDAN, V.; WECKWERTH, W. Editorial: Sorghum and Pearl Millet as Climate Resilient Crops for Food and Nutrition Security. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 851970, 2022.

CHÁVEZ, D.; ASCHERI, J.; MARTINS, A.; CARVALHO, C.; BERNARDO, C.; TELES, A. Sorghum, an alternative cereal for gluten-free product. **Revista Chilena de Nutricion**, v. 45, n. 2, p. 169–177, 2018.

CHENG, W.; SUN, Y.; FAN, M.; LI, Y.; WANG, L.; QIAN, H. Wheat bran, as the resource of dietary fiber: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 26, p. 7269–7281, 2021.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira - Grãos - Safra 2021/22**. 12. ed. v. 9. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento – Conab, 2022.

CORREA, A. C. **Perfil sensorial e direcionadores de preferência em bebida de caju (Anacardium occidentale L.) com finalidade dietética, adicionada de psyllium**. 2014. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

DAKHARA, S. L.; ANAJWALA, C. C.; SELOTE, V. S. Fibrous drugs for curing various common health problems. **Pharmacognosy Reviews**, v. 6, n. 11, p. 16–21, 2012.

DALA-PAULA, B. M. Carboidratos. In: **Química & Bioquímica de Alimentos**. Alfenas: Editora Universidade Federal de Alfenas, 2021. p. 31–65.

DANGI, N.; YADAV, B. S.; YADAV, R. B. Pasting, rheological, thermal and gel textural properties of pearl millet starch as modified by guar gum and its acid hydrolysate. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 139, p. 387–396, 2019.

DE KOCK, H. L.; MAGANO, N. N. Sensory tools for the development of gluten-free bakery foods. **Journal of Cereal Science**, v. 94, p. 102990, 2020.

DELLA LUCIA, S. M.; MINIM, V. P. R.; CARNEIRO, J. de D. S. Análise Sensorial de Alimentos. In: VALÉDIA PAULA RODRIGUES MINIM. **Análise sensorial: estudos com consumidores**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2013. p. 13–48.

DHINGRA, D.; MICHAEL, M.; RAJPUT, H.; PATIL, R. T. Dietary fibre in foods: A review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 49, n. 3, p. 255–266, 2012.

DI CAIRANO, M.; CONDELLI, N.; GALGANO, F.; CARUSO, M. C. Experimental gluten-free biscuits with underexploited flours versus commercial products: Preference pattern and sensory characterisation by Check All That Apply Questionnaire. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 4, p. 1936–1944, 2022.

DIAS-MARTINS, A. M. **Efeitos de diferentes processamentos sobre a qualidade nutricional e funcional de grãos de milheto (Pennisetum glaucum (L.) R. Br.)**. 2019. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2019.

DIAS-MARTINS, A. M.; CAPPATO, L. P.; DA COSTA MATTOS, M.; 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**, v. 85, p. 120–129, 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**, v. 109, p. 175–186, 2018.

DREWNOWSKI, A.; MCKEOWN, N.; KISSOCK, K.; BECK, E.; MEJBORN, H.; VIEUX, F.; SMITH, J.; MASSET, G.; SEAL, C. J. Perspective: Why Whole Grains Should Be Incorporated into Nutrient-Profile Models to Better Capture Nutrient Density. **Advances in Nutrition**, v. 12, n. 3, p. 600–608, 2021.

DUTCOSKY, S. D. **Análise Sensorial de Alimentos**. 3. ed. Curitiba: Champagnat, 2011.

EMBRAPA. **Cultivo do milheto**. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/listaautores?p_p_id=listaautoresportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-3&p_p_col_pos=5&p_p_col_count=7&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=8101&_listaautoresportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1ga1ceportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fautor%2Flista_todos_autores.jsp&_listaautoresportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1ga1ceportlet_redirect=%2Fconteudo%3Fp_p_id%3Dconteudoporlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1ga1ceportlet%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1%26p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId%3D8101%26p_r_p_-996514994_topicoId%3D9018. Acesso em: 28 mar. 2023.

ESTELLER, M. S.; LANNES, S. C. da S. Parâmetros Complementares para Fixação de Identidade e Qualidade de Produtos Panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 802–806, 2005.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. **International Year of Millets 2023 - Building momentum for the year**. Disponível em: [https://media.un.org/en/asset/k1h/k1h0tqi7qq#:~:text=The%20International%20Year%20will%20\(i,to%20achieve%20the%20other%20two](https://media.un.org/en/asset/k1h/k1h0tqi7qq#:~:text=The%20International%20Year%20will%20(i,to%20achieve%20the%20other%20two). Acesso em: 17 abr. 2023.

FRADINHO, P.; NUNES, M. C.; RAYMUNDO, A. Developing consumer acceptable biscuits enriched with Psyllium fibre. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 8, p. 4830–4840, 2015.

FRANCO, E. A. N.; SANCHES-SILVA, A.; RIBEIRO-SANTOS, R.; DE MELO, N. R. Psyllium (*Plantago ovata* Forsk): From evidence of health benefits to its food application. **Trends in Food Science and Technology**, v. 96, p. 166–175, 2020.

GALLEGO, C.; BELORIO, M.; GUERRA-OLIVEIRA, P.; GÓMEZ, M. Effects of adding chickpea and chestnut flours to layer cakes. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 8, p. 4840–4846, 2022.

GASPARRE, N.; PASQUALONE, A.; MEFLEH, M.; BOUKID, F. Nutritional Quality of Gluten-Free Bakery Products Labeled Ketogenic and/or Low-Carb Sold in the Global Market. **Foods**, v. 11, n. 24, p. 4095, 2022.

GIAROLA, R. C.; NABESHIMA, E. H.; MICHELAZZO CAMPOPIANO, J.; FERRARI, R. A.; MARTINS MONTENEGRO, F.; SADAHIRA, M. S. Effect of sunflower protein meal and electrostatic complexes of sunflower meal-pectin on the cake crumb structure and color. **Journal of Food Science and Technology**, v. 59, n. 4, p. 1419–1428, 2022.

GOVINDARAJ, M.; RAI, K. N.; CHERIAN, B.; PFEIFFER, W. H.; KANATTI, A.; SHIVADE, H. Breeding biofortified pearl millet varieties and hybrids to enhance millet markets for human nutrition. **Agriculture (Switzerland)**, v. 9, n. 5, p. 106, 2019.

GUINÉ, R. P. F. Textural Properties of Bakery Products: A Review of Instrumental and Sensory Evaluation Studies. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 12, n. 17, 2022.

GUL, K.; YOUSUF, B.; SINGH, A. K.; SINGH, P.; WANI, A. A. Rice bran: Nutritional values and its emerging potential for development of functional food - A review. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v. 6, n. 1, p. 24–30, 2015.

GULARTE, M. A.; DE LA HERA, E.; GÓMEZ, M.; ROSELL, C. M. Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties. **LWT**, v. 48, n. 2, p. 209–214, 2012.

HEDAYATI, S.; JAFARI, S. M.; BABAJAFARI, S.; NIAKOUSARI, M.; MAZLOOMI, S. M. Different food hydrocolloids and biopolymers as egg replacers: A review of their influences on the batter and cake quality. **Food Hydrocolloids**, v. 128, p. 107611, 2022.

HEDAYATI, S.; NIAKOUSARI, M.; SEIDI DAMYEH, M.; MAZLOOMI, S. M.; BABAJAFARI, S.; ANSARIFAR, E. Selection of appropriate hydrocolloid for eggless cakes containing chubak root extract using multiple criteria decision-making approach. **LWT**, v. 141, p. 110914, 2021.

HOSSAIN, M. S.; ISLAM, M. N.; RAHMAN, M. M.; MOSTOFA, M. G.; KHAN, M. A. R. Sorghum: A prospective crop for climatic vulnerability, food and nutritional security. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 8, p. 100300, 2022.

HU, Y. C.; HU, J. L.; LI, J.; WANG, J.; ZHANG, X. Y.; WU, X. Y.; LI, X.; GUO, Z. Bin; ZOU, L.; WU, D. T. Physicochemical characteristics and biological activities of soluble dietary fibers isolated from the leaves of different quinoa cultivars. **Food Research International**, v. 163, p. 112166, 2023.

IBGE. **Pesquisa de orçamentos familiares 2017-2018: análise do consumo alimentar pessoal no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS - ITAL. **Brasil Food Trends 2020**. São Paulo: ITAL, 2010.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS - ITAL. **Brasil bakery e confectionery trends 2020**. 1. ed. Campinas: ITAL, 2014.

IONIȚĂ-MÎNDRICAN, C.-B.; ZIANI, K.; MITITELU, M.; OPREA, E.; NEACȘU, S. M.; MOROȘAN, E.; DUMITRESCU, D.-E.; ROȘCA, A. C.; DRĂGĂNESCU, D.; NEGREI, C. Therapeutic Benefits and Dietary Restrictions of Fiber Intake: A State of the Art Review. **Nutrients**, v. 14, n. 13, p. 2641, 2022.

JANE, M.; MCKAY, J.; PAL, S. Effects of daily consumption of psyllium, oat bran and polyGlycopleX on obesity-related disease risk factors: A critical review. **Nutrition**, v. 57, p. 84–91, 2019.

JEDDOU, K. Ben; BOUAZIZ, F.; ZOUARI-ELLOUZI, S.; CHAARI, F.; ELLOUZ-CHAABOUNI, S.; ELLOUZ-GHORBEL, R.; NOURI-ELLOUZ, O. Improvement of texture and sensory properties of cakes by addition of potato peel powder with high level of dietary fiber and protein. **Food Chemistry**, v. 217, p. 668–677, 2017.

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**, v. 8, n. 2, p. 307–329, 2016.

KAMP, J. W.; JONES, J. M.; MILLER, K. B.; ROSS, A. B.; SEAL, C. J.; TAN, B.; BECK, E. J. Consensus, global definitions of whole grain as a food ingredient and of whole-grain foods presented on behalf of the whole grain initiative. **Nutrients**, v. 14, n. 1, p. 138, 2022.

KAUR, G.; SHARMA, S.; NAGI, H. P. S.; DAR, B. N. Functional properties of pasta enriched with variable cereal brans. **Journal of Food Science and Technology**, v. 49, n. 4, p. 467–474, 2012.

KISSOCK, K. R.; NEALE, E. P.; BECK, E. J. Knowledge, Messaging, and Selection of Whole-Grain Foods: Consumer and Food Industry Perspectives. **Journal of Nutrition Education and Behavior**, v. 54, n. 12, p. 1086-1098, 2022.

KIUMARSI, M.; SHAHBAZI, M.; YEGANEHZAD, S.; MAJCHRZAK, D.; LIELEG, O.; WINKELJANN, B. Relation between structural, mechanical and sensory properties of gluten-free bread as affected by modified dietary fibers. **Food Chemistry**, v. 277, p. 664–673, 2019.

KUMAR, R. R.; SINGH, N.; SINGH, S.; VINUTHA, T.; KRISHNAN, V.; GOSWAMI, S.; KUMAR, B.; JAT, S. L.; YOGESH, L. N.; SINGH, S. P.; MISHRA, G. P.; TARA SATYAVATHI, C.; SACHDEV, A.; PRAVEEN, S. Nutritional supremacy of pearl- and foxtail millets: assessing the nutrient density, protein stability and shelf-life of flours in millets and cereals for developing nutri-stable foods. **Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology**, v. 31, n. 4, p. 837–852, 2022.

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**, v. 2, n. 1, 2022.

LEVENT, H.; SAYASLAN, A.; YEŞİL, S. Enrichment of Gluten-free Cakes with Grape Molasses and Bioactive Rich Ingredients. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 64, p. e21200027, 2021.

LIU, X.; YANG, W.; PETRICK, J. L.; LIAO, L. M.; WANG, W.; HE, N.; CAMPBELL, P. T.; ZHANG, Z. F.; GIOVANNUCCI, E.; MCGLYNN, K. A.; ZHANG, X. Higher intake of whole grains and dietary fiber are associated with lower risk of liver cancer and chronic liver disease mortality. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, p. 6388, 2021.

MA, S.; WANG, Z.; LIU, H.; LI, L.; ZHENG, X.; TIAN, X.; SUN, B.; WANG, X. Supplementation of wheat flour products with wheat bran dietary fiber: Purpose, mechanisms, and challenges. **Trends in Food Science and Technology**, v. 123, p. 281–289, 2022.

MARBOH, V.; MAHANTA, C. L. Substituting wheat flour with sohphlang (*Flemingia vestita*) flour: Impact on rheological, physicochemical, antioxidant and antifungal properties of cakes. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 28, p. 100546, 2022.

MARTINS, I. E.; SHITTU, T. A.; ONABANJO, O. O.; ADESINA, A. D.; SOARES, A. G.; OKOLIE, P. I.; KUPOLUYI, A. O.; OJO, O. A.; OBADINA, A. O. Effect of packaging materials and storage conditions on the microbial quality of pearl millet sourdough bread. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, n. 1, p. 52–61, 2021.

MAWOUMA, S.; CONDURACHE, N. N.; TURTURICĂ, M.; CONSTANTIN, O. E.; CROITORU, C.; RAPEANU, G. Chemical Composition and Antioxidant Profile of Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) and Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.) Grains Cultivated in the Far-North Region of Cameroon. **Foods**, v. 11, n. 14, 2022.

MENDES, G. da R. L.; RODRIGUES, P. S.; SALAS-MELLADO, M. de las M.; BURKERT, J. F. D. M.; BADIALE-FURLONG, E. Defatted Rice Bran as a Potential Raw Material to Improve the Nutritional and Functional Quality of Cakes. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 76, p. 46–52, 2021.

MENEGASSI, B.; LEONEL, M.; MARIA MISCHAN, M.; ZAMBELLO DE PINHO, S. Efeito de parâmetros de extrusão na cor e propriedades de pasta da farinha de mandioca-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Ciência e agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1780–1792, 2007.

NAKOV, G.; BRANDOLINI, A.; HIDALGO, A.; IVANOVA, N.; STAMATOVSKA, V.; DIMOV, I. Effect of grape pomace powder addition on chemical, nutritional and technological properties of cakes. **LWT**, v. 134, p. 109950, 2020.

NEHRA, M.; SIROHA, A. K.; PUNIA, S.; KUMAR, S. Process standardization for bread preparation using composite blend of wheat and pearl millet: Nutritional, antioxidant and sensory approach. **Current Research in Nutrition and Food Science**, v. 9, n. 2, p. 511–520, 2021.

NESPECA, L. de S.; DA SILVA PAULINO, H. F.; BARLATI VIEIRA DA SILVA, T.; BONA, E.; LEIMANN, F. V.; MARQUES, L. L. M.; CARDOSO, F. A. R.; DROVAL, A. A.; FUCHS, R. H. B. How does the replacement of rice flour with flours of higher nutritional quality impact the texture and sensory profile and acceptance of gluten-free chocolate cakes? **International Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 4, p. 2019–2029, 2021.

OLIVEIRA, D. P. L. **Snacks, farinha pré-gelatinizada e massa alimentícia elaborados com grãos de milho [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] e griz de milho (*Zea mays*)**. 2013. Dissertação (Mestrado em Nutrição e Saúde) – Faculdade de Nutrição, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

OLIVEIRA, D. P. L.; SOARES JÚNIOR, M. S.; BENTO, J. A. C.; DOS SANTOS, I. G.; FERREIRA, T. A. P. de C. Influence of extrusion conditions on the physical and nutritional properties of snacks from maize and pearl millet. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. 3, p. 15215, 2021.

ONIBE, O. O.; JIDEANI, A. I. O.; BESWA, D. Composition and functionality of wheat bran and its application in some cereal food products. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 12, p. 2509–2518, 2015.

ONIBE, O. O.; RAMASHIA, S. E.; JIDEANI, A. I. O. Wheat bran modifications for enhanced nutrition and functionality in selected food products. **Molecules**, v. 26, n. 13, p. 3918, 2021.

ONYEOZIRI, I. O.; TORRES-AGUILAR, P.; HAMAKER, B. R.; TAYLOR, J. R. N.; DE KOCK, H. L. Descriptive sensory analysis of instant porridge from stored wholegrain and decorticated pearl millet flour cooked, stabilized and improved by using a low-cost extruder. **Journal of Food Science**, v. 86, n. 9, p. 3824–3838, 2021.

OTONDI, E. A.; NDUKO, J. M.; OMWAMBA, M. Physico-chemical properties of extruded cassava-chia seed instant flour. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 2, p. 100058, 2020.

PAESANI, C.; BRAVO-NÚÑEZ, Á.; GÓMEZ, M. Effect of stabilized wholegrain maize flours on the quality characteristics of gluten-free layer cakes. **LWT**, v. 135, p. 109959, 2021.

PASQUALONE, A.; COSTANTINI, M.; LABARBUTA, R.; SUMMO, C. Production of extruded-cooked lentil flours at industrial level: Effect of processing conditions on starch gelatinization, dough rheological properties and techno-functional parameters. **LWT**, v. 147, p. 111580, 2021.

PEARSON, W.; SCHMIDTKE, L.; FRANCIS, I. L.; BLACKMAN, J. W. An investigation of the Pivot© Profile sensory analysis method using wine experts: Comparison with descriptive analysis and results from two expert panels. **Food Quality and Preference**, v. 83, p. 103858, 2020.

PESSANHA, K. L. F.; MENEZES, J. P. de; SILVA, A. dos A.; FERREIRA, M. V. da S.; TAKEITI, C. Y.; CARVALHO, C. W. P. Impact of whole millet extruded flour on the physicochemical properties and antihyperglycemic activity of gluten free bread. **LWT - Food Science and Technology**, v. 147, p. 111495, 2021.

PHIMOLSIRIPOL, Y.; MUKPRASIRT, A.; SCHOENLECHNER, R. Quality improvement of rice-based gluten-free bread using different dietary fibre fractions of rice bran. **Journal of Cereal Science**, v. 56, n. 2, p. 389–395, 2012.

PRASADI, N.; JOYE, I. J. Dietary fibre from whole grains and their benefits on metabolic health. **Nutrients**, v. 12, n. 10, p. 3045, 2020.

PUNIA, S.; KUMAR, M.; SIROHA, A. K.; KENNEDY, J. F.; DHULL, S. B.; WHITESIDE, W. S. Pearl millet grain as an emerging source of starch: A review on its structure, physicochemical properties, functionalization, and industrial applications. **Carbohydrate Polymers**, v. 260, p. 117776, 2021a.

PUNIA, S.; KUMAR, M.; SIROHA, A. K.; PUREWAL, S. S. Rice Bran Oil: Emerging Trends in Extraction, Health Benefit, and Its Industrial Application. **Rice Science**, v. 28, n. 3, p. 217–232, 2021b.

RADHIKA; VIRK, A.; KAUR, M.; THAKUR, P.; CHAUHAN, D.; RIZVI, Q. U. E. H.; JAN, S.; KUMAR, K. Development and nutritional evaluation of multigrain gluten free cookies and

pasta products. **Current Research in Nutrition and Food Science**, v. 7, n. 3, p. 842–853, 2019.

REIS, R. C.; MINIM, V. P. R. Testes de aceitação. *Em*: MINIM, V. P. R. **Análise sensorial: estudos com consumidores**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2013. p. 65–81.

RENZETTI, S.; THEUNISSEN, M.; HORREVORTS, K. A Systematic Comparison of the Intrinsic Properties of Wheat and Oat Bran Fractions and Their Effects on Dough and Bread Properties: Elucidation of Chemical Mechanisms, Water Binding, and Steric Hindrance. **Foods**, v. 10, n. 10, p. 2311, 2021.

RIOS, M. B.; IRIONDO-DEHOND, A.; IRIONDO-DEHOND, M.; HERRERA, T.; VELASCO, D.; GÓMEZ-ALONSO, S.; CALLEJO, M. J.; DEL CASTILLO, M. D. Effect of coffee cascara dietary fiber on the physicochemical, nutritional and sensory properties of a gluten-free bread formulation. **Molecules**, v. 25, n. 6, p. 1358, 2020.

RODRIGUES, I.; MAGALHAES, D. R.; TRINDADE, M. A. Use of Focus Group as Selection Method of Descriptors for Check-All-That-Apply (CATA) for Sensory Characteristics of Hot Dogs. **Foods**, v. 11, n. 3, p. 269, 2022.

ROMÁN, L.; SANTOS, I.; MARTÍNEZ, M. M.; GÓMEZ, M. Effect of extruded wheat flour as a fat replacer on batter characteristics and cake quality. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 12, p. 8188–8195, 2015.

RUIZ-CAPILLAS, C.; HERRERO, A. M.; PINTADO, T.; DELGADO-PANDO, G. Sensory analysis and consumer research in new meat products development. **Foods**, v. 10, n. 2, p. 1–15, 2021.

SANDERS, L. M.; ZHU, Y.; WILCOX, M. L.; KOECHER, K.; MAKI, K. C. Effects of Whole Grain Intake, Compared with Refined Grain, on Appetite and Energy Intake: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Advances in Nutrition**, v. 12, n. 4, p. 1177–1195, 2021.

SEAL, C. J.; COURTIN, C. M.; VENEMA, K.; DE VRIES, J. Health benefits of whole grain: effects on dietary carbohydrate quality, the gut microbiome, and consequences of processing. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 20, n. 3, p. 2742–2768, 2021.

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**, 2022.

SHANG, X. L.; LIU, C. Y.; DONG, H. Y.; PENG, H. H.; ZHU, Z. Y. Extraction, purification, structural characterization, and antioxidant activity of polysaccharides from Wheat Bran. **Journal of Molecular Structure**, v. 1233, p. 130096, 2021.

SHARMA, S. K.; BANSAL, S.; MANGAL, M.; DIXIT, A. K.; GUPTA, R. K.; MANGAL, A. K. Utilization of food processing by-products as dietary, functional, and novel fiber: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 56, n. 10, p. 1647–1661, 2016.

SILVA, N. A. B.; SILVA, J. C.; SILVA, S. L. dos R.; GONÇALVES, A. C. A.; SILVA, W. A. da; PIRES, C. V.; TROMBETE, F. M. Desenvolvimento e avaliação sensorial de massa de pizza sem glúten, fonte de fibras e adicionada de psyllium. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 11, p. 1–8, 2019.

SOHAIL, M.; RAKHA, A.; BUTT, M. S.; IQBAL, M. J.; RASHID, S. Rice bran nutraceuticals: A comprehensive review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 17, p. 3771–3780, 2017.

TAN, B.; WU, N. N.; ZHAI, X. T. Solutions for whole grain food development. **Nutrition Reviews**, v. 78, p. 61–68, 2021.

TOPKAYA, C.; ISIK, F. Effects of pomegranate peel supplementation on chemical, physical, and nutritional properties of muffin cakes. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, n. 6, p. e13868, 2019.

TSATSARAGKOU, K.; METHVEN, L.; CHATZIFRAGKOU, A.; RODRIGUEZ-GARCIA, J. The functionality of inulin as a sugar replacer in cakes and biscuits; highlighting the influence of differences in degree of polymerisation on the properties of cake batter and product. **Foods**, v. 10, n. 5, p. 951, 2021.

VERONESE, N.; SOLMI, M.; CARUSO, M. G.; GIANNELLI, G.; OSELLA, A. R.; EVANGELOU, E.; MAGGI, S.; FONTANA, L.; STUBBS, B.; TZOULAKI, I. Dietary fiber and health outcomes: An umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 107, n. 3, p. 436–444, 2018.

VIGNEAU, E.; CARIOU, V.; GIACALONE, D.; BERGET, I.; LLOBELL, F. Combining hedonic information and CATA description for consumer segmentation. **Food Quality and Preference**, v. 95, p. 104358, 2022.

WANG, Y.; COMPAORÉ-SÉRÉMÉ, D.; SAWADOGO-LINGANI, H.; CODA, R.; KATINA, K.; MAINA, N. H. Influence of dextran synthesized in situ on the rheological, technological and nutritional properties of whole grain pearl millet bread. **Food Chemistry**, v. 285, p. 221–230, 2019.

XU, J.; ZHANG, Y.; WANG, W.; LI, Y. Advanced properties of gluten-free cookies, cakes, and crackers: A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 103, p. 200–213, 2020.

YADAV, G. P.; DALBHAGAT, C. G.; MISHRA, H. N. Effects of extrusion process parameters on cooking characteristics and physicochemical, textural, thermal, pasting, microstructure, and nutritional properties of millet-based extruded products: A review. **Journal of Food Process Engineering**, v. 45, n. 9, p. e14106, 2022.

YANG, T.; MA, S.; LIU, J.; SUN, B.; WANG, X. Influences of four processing methods on main nutritional components of foxtail millet: A review. **Grain and Oil Science and Technology**, v. 5, n. 3, p. 156–165, 2022.

YANG, Y.; JIAO, A.; LIU, Q.; XU, E.; CHEN, Y.; JIN, Z. Functional and physical properties of naked barley-based unexpanded extrudates: effects of low temperature. **International Journal of Food Properties**, v. 23, n. 1, p. 1886–1898, 2020.

YI, C.; QIANG, N.; ZHU, H.; XIAO, Q.; LI, Z. Extrusion processing: A strategy for improving the functional components, physicochemical properties, and health benefits of whole grains. **Food Research International**, v. 160, p. 111681, 2022.

YOUNAS, A.; BHATTI, M. S.; AHMED, A.; RANDHAWA, M. A. Effect of rice bran supplementation on cookie baking quality. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 48, n. 2, p. 133–138, 2011.

ZHANG, K.; SUN, J.; FAN, M.; QIAN, H.; YING, H.; LI, Y.; WANG, L. Functional ingredients present in whole-grain foods as therapeutic tools to counteract obesity: Effects on brown and white adipose tissues. **Trends in Food Science and Technology**, v. 109, p. 513–526, 2021.

ZHAO, G.; ZHANG, R.; DONG, L.; HUANG, F.; TANG, X.; WEI, Z.; ZHANG, M. Particle size of insoluble dietary fiber from rice bran affects its phenolic profile, bioaccessibility and functional properties. **LWT**, v. 87, p. 450–456, 2018.

4 IMPACTOS DA EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA EM FARINHAS DE MILHETO (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) DECORTICADO E INTEGRAL

4.1 Resumo

O milheto é considerado um nutri-cereal, com altos teores de proteínas, fibras, ácidos graxos, minerais e compostos bioativos. O processamento dos grãos de milheto para produção de farinha refinada consiste na decorticação, com separação do farelo e gérmen do endosperma, obtendo uma farinha refinada. Porém, como o gérmen não é retirado completamente do endosperma, não se reduz suficientemente o teor lipídico da farinha tornando-a mais propensa à oxidação, com consequente redução do teor de nutrientes. Por outro lado, os grãos integrais têm sido utilizados por sua melhor composição nutricional e demanda de mercado por produtos integrais e com maiores valores de fibras. A extrusão pode inativar as lipases dos grãos reduzindo problemas de oxidação e provocando mudanças na estrutura molecular do amido e nas propriedades reológicas de pasta. Assim, objetivou-se avaliar os impactos da extrusão termoplástica nas propriedades de farinhas de grãos de milheto decorticados e integrais. Grãos integrais de milheto ADR_G 9070 foram limpos e decorticados por abrasão mecânica. Em seguida, os grãos (decorticados e integrais) foram moídos, obtendo-se a farinha crua do grão decortinado (farinha refinada) e a farinha crua integral (obtida dos grãos integrais). As farinhas foram inseridas a 10 kg.h⁻¹ em uma extrusora de dupla rosca equipada com uma matriz de 1 furo, com diâmetro de 8 mm, e um cortador de 2 lâminas, com velocidade de 250 rpm e perfil de temperatura de 25, 25, 60, 90, 120, 120, 120, 90, 60 e 60 °C. Os extrudados foram secos e moídos para obter as farinhas extrudada refinada e integral. Avaliou-se a cor, a distribuição granulométrica, o índice de absorção de água, as propriedades de pasta e a microestrutura das farinhas. A extrusão não provocou alterações na luminosidade ($p > 0,05$) das farinhas refinada e integral. A farinha crua integral apresentou o maior percentual (19,3%) de partículas grossas ($>498 \mu\text{m}$) entre as amostras. Já a crua refinada apresentou as maiores quantidades (54,37%) de partículas finas ($<249 \mu\text{m}$). Nas farinhas extrudadas refinadas e integrais, foram observadas distribuições e porcentagens de partículas finas, intermediárias e grossas semelhantes. O processo de extrusão aumentou ($p < 0,05$) a capacidade de absorção de água da farinha integral. Quanto à farinha refinada, não houve diferença ($p > 0,05$) após a extrusão. A temperatura de pasta das amostras cruas (76,58 e 75,50 cP) foi superior a das extrudadas (73,08 e 72,23 cP), devido à integridade dos grânulos de amido e à maior necessidade de energia para iniciar a absorção de água e intumescimento. A quebra de viscosidade diminuiu nas amostras cozidas

por extrusão, mas em maior extensão na amostra extrudada refinada, em consequência da maior exposição do amido ao tratamento térmico quando o grão é brunido. Já a viscosidade final e a tendência à retrogradação diminuíram após a extrusão. As farinhas cruas apresentaram estrutura granular com maior quantidade de grânulos uniformes, intactos e esféricos em comparação às extrudadas. As farinhas estudadas possuem potencial para serem utilizadas na produção de diferentes produtos alimentícios, inclusive os sem glúten. Sugere-se para estudos futuros realizar a avaliação do impacto desses processos na composição nutricional, compostos bioativos, atividade antioxidante, estabilidade à oxidação e microbiológica, além do desenvolvimento de novos produtos.

Palavras-chave: Cereais. Grãos. Propriedades de pasta. Fibras. Amido. Produtos de panificação.

4.2 Introdução

O milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) é uma das culturas mais cultivadas na Índia, no Sul da Ásia e na África, caracterizando-se como uma importante fonte de subsistência e de garantia de segurança alimentar nestes locais (PADMAJA *et al.*, 2023; VIDHYALAKSHMI; MEERA, 2023). Este cereal apresenta vantagens agronômicas e de disponibilidade de nutrientes, por apresentar raízes profundas e ser resistente a condições ambientais adversas, como baixo índice de pluviosidade, altas temperaturas, baixa fertilidade do solo, alta salinidade, além de possuir curta estação de crescimento e capacidade de resistir a pragas e doenças (DIAS-MARTINS *et al.*, 2018; TORRES-AGUILAR *et al.*, 2023).

Os grãos de milheto são denominados como “nutri-cereais” por apresentarem altos teores de proteínas, de fibras alimentares, de ácidos graxos essenciais, principalmente ácido linoleico e oleico, e de ferro e zinco, sendo que estes minerais se encontram em maior quantidade no milheto do que no sorgo, trigo, arroz e milho; ademais, eles contêm compostos bioativos (PADMAJA *et al.*, 2023; VIDHYALAKSHMI; MEERA, 2023). Muitos alimentos podem ser produzidos a partir do milheto como farinhas, mingaus, cuscuz, vinhos, cervejas, pães, bolos, doces, biscoitos, dentre outros (DIAS-MARTINS *et al.*, 2018; PADMAJA *et al.*, 2023; VIDHYALAKSHMI; MEERA, 2023).

A decorticação é um dos métodos mais usados para processar os grãos de milheto devido à sua simplicidade e baixo custo. Esse processo se baseia na remoção por força abrasiva das camadas de farelo (pericarpo e gérmen) com o objetivo de separar as frações anatômicas dos

grãos (pericarpo, endosperma e gérmen), melhorar atributos de qualidade como sabor, textura, cor e palatabilidade, e redução do teor de ácido fítico (BUTIMEA-CANTÚA *et al.*, 2013; DIAS-MARTINS *et al.*, 2018, 2019; LI *et al.*, 2022; ONYEOZIRI *et al.*, 2021). Contudo, o gérmen não é retirado completamente neste processo e não se reduz suficientemente o teor lipídico, tornando os grãos propensos à oxidação e reduzindo o prazo de validade da farinha (DIAS-MARTINS *et al.*, 2018; ONYEOZIRI *et al.*, 2021).

A decorticação pode também causar redução do teor de nutrientes, de compostos bioativos, do poder antioxidante e modificação nas propriedades físicas dos grãos (DIAS-MARTINS *et al.*, 2019; LI *et al.*, 2022). Assim, o uso dos grãos integrais tem sido cada vez mais incentivado por sua melhor composição nutricional. Os grãos integrais são compostos pelo endosperma amiláceo, gérmen e farelo nas mesmas quantidades presentes na cariopse inteira, podem apresentar aproximadamente 80% mais fibras do que os grãos refinados e seu consumo tem sido relacionado à redução do risco de doenças crônicas não transmissíveis devido ao seu elevado teor de nutrientes (DUNFORD *et al.*, 2022; FANG *et al.*, 2023; MILESI; RANGAN; GRAFENAUER, 2022).

Tratamentos térmicos, como o cozimento por extrusão termoplástica, podem inativar as lipases dos grãos reduzindo problemas decorrentes da oxidação e desenvolver aromas e sabores agradáveis pela reação de Maillard durante o cozimento (ONYEOZIRI *et al.*, 2021). Além disso, outros benefícios são alcançados com a extrusão, como a redução de antinutrientes; redução ou eliminação de micro-organismos presentes na matéria-prima; aumento da biodisponibilidade de minerais e da atividade antioxidante pela liberação de compostos fenólicos que estavam ligados a fibras insolúveis, além de apresentar alta eficiência e baixa geração de resíduos (COMETTANT-RABANAL *et al.*, 2021; MITRUS *et al.*, 2023; PASQUALONE *et al.*, 2021; YANG *et al.*, 2020). A extrusão, muito utilizada para fabricação de farinhas pré-gelatinizadas e *snacks*, é um processo em que uma matéria-prima é misturada com água e injetada em um cilindro (matriz) onde será submetida a condições de mistura, compressão, alta temperatura e altas taxas de cisalhamento por um curto período de tempo (LUO; KOKSEL, 2023; MITRUS *et al.*, 2023; PESSANHA *et al.*, 2021; TAN; WU; ZHAI, 2021; TORRES-AGUILAR *et al.*, 2023).

A tecnologia de extrusão afeta as propriedades reológicas de pasta e provoca mudanças na estrutura molecular do amido aumentando suas propriedades funcionais, como absorção de água; promove a gelatinização e fusão dos grânulos de amido; destruição parcial ou completa da estrutura cristalina; desnaturação de proteínas; formação de complexos amilose-lipídios e

conversão de fibras insolúveis em solúveis (COMETTANT-RABANAL *et al.*, 2021; DIEZ-SÁNCHEZ *et al.*, 2019; LUO; KOKSEL, 2023; MITRUS *et al.*, 2023; ROMÁN; REGUILÓN; GÓMEZ, 2018; YANG *et al.*, 2020). O grau dessas mudanças e a qualidade do produto extrudado dependem das condições de extrusão, como perfil de temperatura, taxa e umidade de alimentação, velocidade da rosca, tipo de extrusora, tamanho das partículas e composição das matérias-primas (DIEZ-SÁNCHEZ *et al.*, 2019; LUO; KOKSEL, 2023; SHIRAZI *et al.*, 2020). Dessa forma, o objetivo do trabalho foi avaliar os impactos do cozimento por extrusão termoplástica nas propriedades físico-químicas e de pasta de farinhas de grãos de milho decorticados e integrais.

4.3 Materiais e métodos

4.3.1 Produção das farinhas

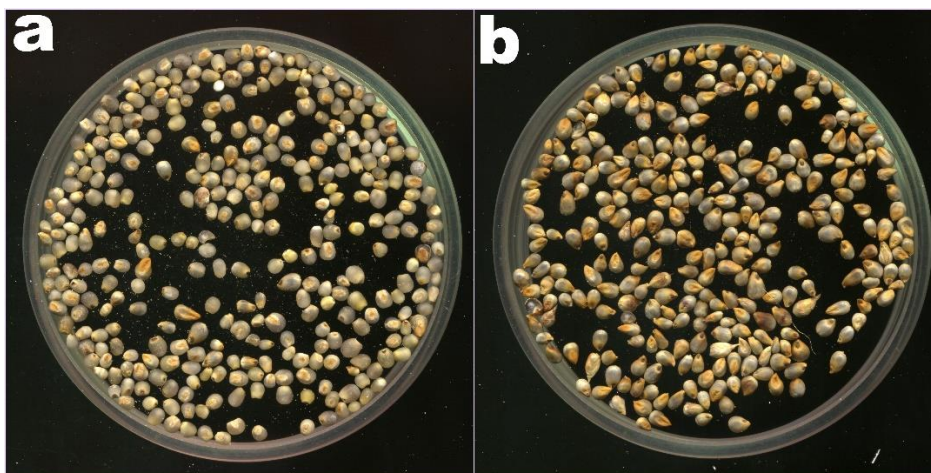
Os grãos de milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) ADR_G 9070 foram fornecidos pela empresa Atto Sementes® (Rondonópolis, MT) e a produção das farinhas foi realizada na Embrapa Agroindústria de Alimentos (Rio de Janeiro, Brasil).

Para produção das farinhas, os grãos inteiros de milho foram previamente limpos por meio de um separador aero mecânico Clipper Office Tester 400/B (A.T. Ferrell Co., Bluffton, EUA) acoplado com peneiras de 7,5 mm e 8 mm. A decorticação foi realizada com os grãos integrais de milho em uma máquina descascadora de arroz por abrasão mecânica (modelo MT-97, nº3788-5, Suzuki, Brasil) por 5 min (DIAS-MARTINS *et al.*, 2019). Em seguida, os grãos decorticados (Figura 1a) e os grãos integrais (Figura 1b) limpos foram moídos em um moinho granulador de facas e martelos – 7,5 cv (TREU 95-018-B, Rio de Janeiro, Brasil) acoplado com uma peneira de aço inoxidável com abertura de 1 mm, obtendo-se a farinha crua do grão decorticado, que foi denominada de refinada, e a farinha crua integral, respectivamente.

Para obtenção das farinhas extrudadas refinadas e integrais, a farinha obtida no processo de moagem dos grãos foi alimentada na extrusora a uma vazão de 10 kg.h⁻¹. A extrusão foi realizada por meio de uma extrusora de dupla rosca Clextral Evolum HT25 (Clextral Inc., Firminy, França), equipada com uma matriz de formato circular de 1 furo com diâmetro de 8 mm e um cortador de 2 lâminas, com velocidade de rosca constante de 250 rpm e perfil de temperatura, da alimentação para a saída, de: 25, 25, 60, 90, 120, 120, 120, 90, 60 e 60 °C. A vazão de alimentação de sólidos foi de 10 kg.h⁻¹, a vazão de água foi de 2 L.h⁻¹ e o teor de umidade na saída da extrusora de aproximadamente 21%. Os extrudados foram coletados em bandejas e secos em estufa de circulação de ar (Hauber Macanuda, Santa Catarina, Brasil) a 60

± 2 °C por 24 horas. Após a secagem, os extrudados foram moídos no mesmo moinho granulador de facas e martelos – 7,5 cv (TREU 95-018-B, Rio de Janeiro, Brasil), mas acoplado com uma peneira de aço inoxidável com abertura de 1,25 mm. As farinhas resultantes foram armazenadas em saco plástico de polietileno até a realização das análises.

Figura 1 – a) Grãos de milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) decorticados ADR_G 9070 (Atto Sementes®) b) Grãos de milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) integrais ADR_G 9070 (Atto Sementes®)



Fonte: Registro da autora.

4.3.2 Avaliação objetiva da cor

A avaliação da cor das farinhas foi realizada com o auxílio de um colorímetro portátil (Minolta Chroma meter CR-210) por meio da leitura da reflectância do sistema de coordenadas retangulares L^* , a^* e b^* , referentes à luminosidade (0 a 100), à cromaticidade [vermelho (+) ao verde (-)] e à saturação [amarelo (+) ao azul (-)]. A leitura foi realizada em três pontos distintos da cubeta e a análise foi feita com seis replicatas. Os valores de a^* e b^* foram utilizados para o cálculo de croma [$C^* = (a^{*2} + b^{*2})$], que indica a intensidade da cor, e da tonalidade [$h^\circ = \tan^{-1}(b^*/a^*)$], em que 0° = vermelho, 90° = amarelo, 180° = verde e 270° = azul.

4.3.3 Distribuição granulométrica

A distribuição granulométrica das amostras de farinha foi determinada utilizando um analisador de tamanho de partícula série S3500 (Microtrac Inc., Montgomeryville, EUA), em duplicata, de acordo com o método modificado 55-40.01 (AACC, 2010a) com água deionizada, sendo feita a classificação das amostras de acordo com o tamanho de partículas com três faixas:

<249 μm ; de 249 μm a 498 μm e de 498 μm a 2000 μm (COMETTANT-RABANAL *et al.*, 2021).

4.3.4 Índice de absorção de água

A determinação do índice de absorção de água (IAA) das farinhas foi realizada com sete replicatas conforme o método 56-20.01 da AACC International (AACC, 2010b), em que 2,0 g de cada amostra foram pesados em tubo falcon e suspensos em 40 mL de água destilada. A suspensão foi mantida em repouso por 10 minutos, sendo misturada ao final de 5 e 10 minutos, e então centrifugada a 1000 g por 15 minutos. O sobrenadante foi retirado e o sedimento pesado. O IAA foi calculado por meio da razão entre o peso do sedimento ao final da centrifugação e o peso da amostra.

4.3.5 Propriedades de pasta

As propriedades de pasta das amostras de farinha foram analisadas, em duplicata, utilizando um analisador rápido de viscosidade (Rapid Visco Analyzer série 4 RVA, Newport Scientific Pty Ltd., Warriewood, Austrália) de acordo com a metodologia descrita por Ragaee e Abdel-Aal (2006) e Comettant-Rabanal *et al.* (2021). Três gramas de farinha ajustada a 14% de umidade (base úmida) foram colocados juntamente com 25 mL de água destilada no porta-amostra (copo de alumínio) do equipamento. As condições de teste foram: mistura a 160 rpm a 25 °C por 2 min, aquecimento até 95 °C a uma taxa constante de 14 °C/min (mantido por 3 min) e, então, resfriamento a 25 °C em 5 min na mesma taxa, com um tempo total de 20 minutos. As leituras de propriedades de pasta medidas foram: temperatura de pasta (*pasting temperature*) (PTem, cP), início de formação de pasta (*onset of pasta formation*) (OPF, cP), pico máximo de viscosidade a 95 °C (*peak viscosity*) (PV, cP), queda de viscosidade no período de manutenção a 95 °C (*trough viscosity*) (TV, cP), quebra de viscosidade (*breakdown viscosity*) (BDV = PV-TV, cP), viscosidade final (*final viscosity*) (FV, cP) e tendência à retrogradação (*setback viscosity*) (SBV = FV-TV, cP).

4.3.6 Microscopia eletrônica de varredura

As amostras de farinha foram depositadas em fita adesiva dupla face revestida com carbono, montada em suporte de alumínio, para evitar o efeito de carga. Após a deposição, as amostras foram observadas no microscópio eletrônico de varredura (FEI Quanta 200 FEG) aplicando-se uma tensão de 2,5 kV.

4.3.7 Análises estatísticas dos resultados

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e avaliados por meio do teste LSD de Fisher ($p < 0,05$), com o auxílio dos *softwares* InfoStat, versão 2020 (DI RIENZO ET AL., 2020) e Statgraphics Centurion versão 15.2 (STATGRAPHICS TECHNOLOGIES, 2017).

4.4 Resultados e discussão

4.4.1 Avaliação objetiva da cor

Os resultados da avaliação objetiva da cor podem ser visualizados na Tabela 1:

Tabela 1 – Parâmetros de cor de farinhas de milho cruas e extrudadas

Amostras	L*	a*	b*	h°	C*
Crua refinada	73,73 ± 2,27 ^a	0,22 ± 0,10 ^c	13,53 ± 0,50 ^d	88,79 ± 0,40 ^b	13,54 ± 0,50 ^d
Crua integral	71,74 ± 0,90 ^b	1,13 ± 0,18 ^a	17,80 ± 0,55 ^b	86,38 ± 0,45 ^d	17,84 ± 0,56 ^b
Extrudada refinada	73,45 ± 1,53 ^{ab}	0,03 ± 0,04 ^d	15,65 ± 1,14 ^c	89,89 ± 0,13 ^a	15,50 ± 1,21 ^c
Extrudada integral	72,62 ± 1,26 ^{ab}	0,76 ± 0,05 ^b	19,15 ± 0,32 ^a	87,73 ± 0,15 ^c	19,16 ± 0,32 ^a

Fonte: Dados da pesquisa.

Médias ± desvio padrão com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste LSD de Fisher ($p > 0,05$).

A cor é um parâmetro importante dos alimentos e, no caso das farinhas, irá impactar os produtos derivados e apresentar um papel na aceitação pelos consumidores. A severidade das condições de extrusão apresenta efeito significativo na cor, uma vez que altas temperaturas, baixo teor de umidade e alto tempo de retenção tendem a promover reações de escurecimento (YADAV; DALBHAGAT; MISHRA, 2022).

A extrusão não provocou alterações na luminosidade ($p > 0,05$) das farinhas refinada e integral. As farinhas produzidas apresentaram luminosidade (L*) alta (em torno de 70) apontando para uma coloração mais clara. A farinha crua integral apresentou-se mais escura que a farinha crua refinada, apresentando menor valor de L*, possivelmente devido à remoção das frações de gérmen e farelo com consequente redução no teor de pigmentos, como os flavonoides que são responsáveis por uma cor acinzentada (DIAS-MARTINS *et al.*, 2018, 2019). Os resultados de luminosidade encontrados neste trabalho se encontram dentro da faixa

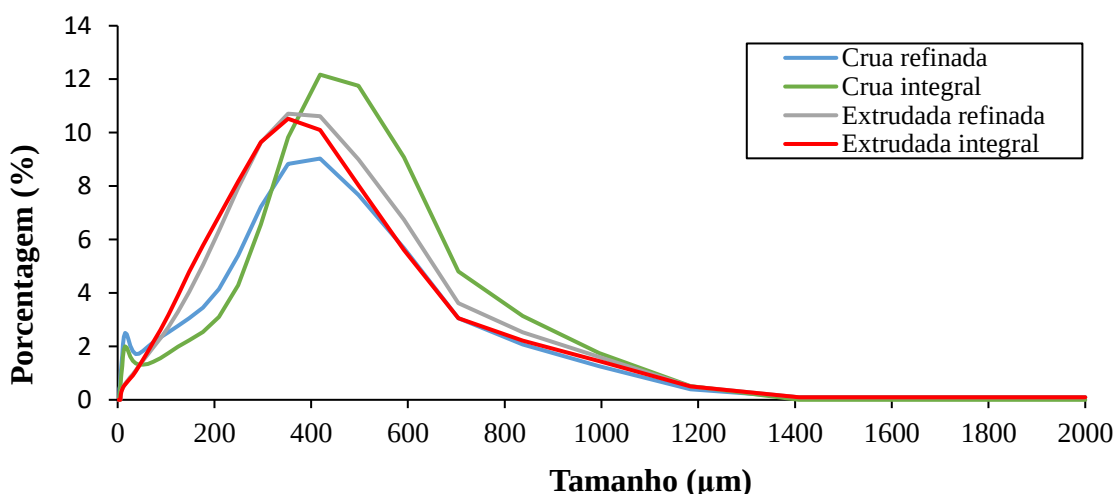
dos valores obtidos por Akinola et al. (2017) para farinhas de milho submetidas a diferentes tratamentos (L^* entre 72,01 e 73,72).

Os valores de b^* foram positivos e os de h° próximos a 90° demonstrando coloração amarela, e os de croma (C^*) foram superiores a zero, indicando intensidade da cor obtida. As farinhas refinadas apresentaram também maiores valores de h° ($p < 0,05$) do que as integrais, provavelmente devido à presença dos pigmentos presentes nos grãos integrais. Os valores de a^* foram positivos, porém baixos, indicando baixa tendência à coloração vermelha e maior influência de b^* nesta característica.

4.4.2 Distribuição granulométrica das farinhas

A distribuição granulométrica das farinhas cruas e extrudadas podem ser observadas na Figura 2.

Figura 2 – Distribuição granulométrica de farinhas de milho cruas e extrudadas



Fonte: Dados da pesquisa.

A granulometria pode interferir nas propriedades das farinhas, como a absorção de água, solubilidade, digestibilidade do amido, valor nutricional e aceitação pelo consumidor em produtos derivados (DIAS-MARTINS *et al.*, 2018; FAROOQ *et al.*, 2018). A farinha crua integral apresentou o maior percentual (19,3%) de partículas grossas (498 μm) entre as amostras ($p < 0,05$) (Tabela 2), o que se deve à presença do gérmen e das fibras, que dificultam a fragmentação entre a interação proteína-amido na matriz do grão (GE *et al.*, 2023). Já a farinha crua refinada apresentou as maiores quantidades (54,37%) de partículas finas (<249 μm) e menores quantidades de partículas intermediárias (249-498 μm) e grossas (>498 μm) entre as amostras ($p < 0,05$), o que provavelmente se deve ao processo de remoção do farelo que permite

que o endosperma esteja em maior quantidade que outras partículas maiores, como as fibras (DIAS-MARTINS, 2019).

Nas farinhas extrudadas refinadas e integrais, foram observadas distribuições e porcentagens de partículas finas, intermediárias e grossas semelhantes ($p > 0,05$), devido ao processo de extrusão brando que causou um efeito uniforme na rigidez de ambas as amostras, associado ao processo de retrogradação do amido com menor mobilidade de água, aumento da ordem molecular e maior recristalização, resultando, então, em amidos rígidos com digestibilidade lenta (LIU *et al.*, 2019). O processo de retardar a digestibilidade do amido pode resultar em modulação da secreção de insulina e da resposta glicêmica pós-prandial, com menores respostas glicêmicas e potenciais benefícios nutricionais e de saúde (TAN; WU; ZHAI, 2021).

Tabela 2 – Porcentagem estimada do tamanho de partícula em farinhas de milho cruas e extrudadas

Tamanho de partícula (µm)	Crua refinada (%)	Crua integral (%)	Extrudada refinada (%)	Extrudada integral (%)
<249 (fina)	54,37 ± 1,28 ^a	40,38 ± 1,04 ^c	43,90 ± 1,49 ^b	44,36 ± 0,92 ^b
249-498 (intermediária)	32,78 ± 1,13 ^b	40,32 ± 0,13 ^a	40,13 ± 1,53 ^a	39,17 ± 1,45 ^a
498-2000 (grossa)	12,85 ± 0,61 ^c	19,30 ± 1,06 ^a	16,00 ± 0,39 ^b	16,50 ± 1,2 ^b

Fonte: Dados da pesquisa.

Médias ± desvio padrão com letras iguais na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste LSD de Fisher ($p > 0,05$).

4.4.3 Índice de absorção de água das farinhas

Os resultados do índice de absorção de água das farinhas estudadas podem ser observados na Tabela 3:

Tabela 3 – Índice de absorção de água de farinhas de milho cruas e extrudadas

Amostras	Índice de absorção de água (g.g ⁻¹)
Crua refinada	1,78 ± 0,07 ^c
Crua integral	2,78 ± 0,07 ^b
Extrudada refinada	1,89 ± 0,07 ^c
Extrudada integral	4,24 ± 0,25 ^a

Fonte: Dados da pesquisa.

Médias ± desvio padrão com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste LSD de Fisher ($p > 0,05$).

O IAA possui função importante no desenvolvimento dos alimentos e representa a capacidade da farinha de reter a água, medindo o volume ocupado pelo amido e outros constituintes quando intumescem em excesso de água. Pode indicar também a extensão da degradação dos componentes moleculares, quantidade de polissacarídeo solúvel liberada do amido após o processo de extrusão, a integridade do amido na dispersão aquosa e o seu grau de geleificação, uma vez que o amido nativo geralmente não absorve água à temperatura ambiente. Dessa forma, essa característica funcional das farinhas depende da presença de amido modificado e de fibras alimentares (DIAS-MARTINS, 2019; DIAS-MARTINS *et al.*, 2019; KHARAT *et al.*, 2019; YADAV; DALBHAGAT; MISHRA, 2022).

O processo de extrusão aumentou significativamente ($p < 0,05$) a capacidade de absorção de água da farinha integral. A alta temperatura associada ao cisalhamento aplicados na extrusão resultam em maior proporção de amido danificado e em sua pré-geleificação, o que faz com que a farinha absorva mais água e se disperse mais facilmente (DIAS-MARTINS, 2019; YADAV; DALBHAGAT; MISHRA, 2022). Essa característica é vantajosa para o desenvolvimento de alimentos que requerem maior viscosidade, podendo apresentar função espessante (AKINOLA *et al.*, 2017). Quanto à farinha refinada, não houve diferença após a extrusão ($p > 0,05$).

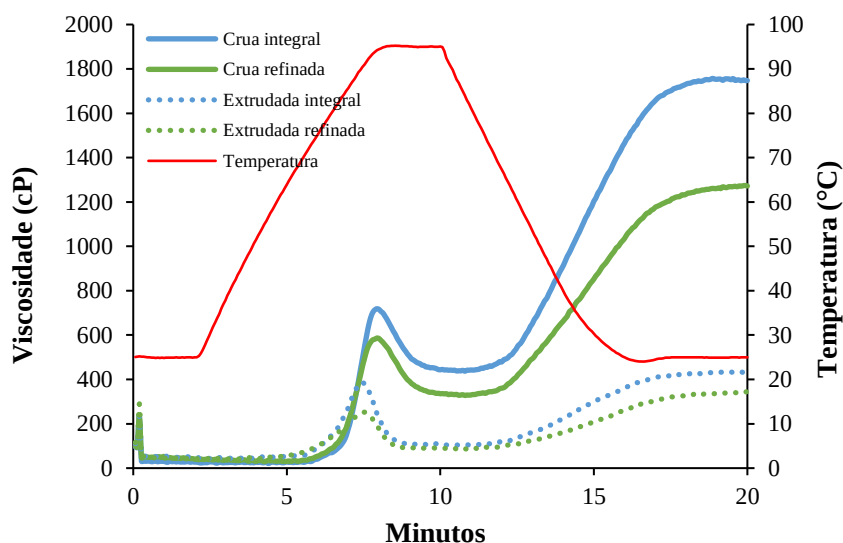
As amostras refinadas apresentaram menor IAA do que as amostras integrais, provavelmente pela retirada do farelo, que apresenta alta concentração de fibras alimentares. Estas apresentam elevada capacidade de ligação e absorção de água e, assim, sua redução reflete nesta propriedade da farinha (DIAS-MARTINS, 2019; SRUTHI; RAO; RAO, 2021).

Estes resultados se assemelham aos encontrados por Dias-Martins (2019) em que as farinhas cruas integrais e decorticadas apresentaram os menores valores de IAA ($1,96 \text{ g.g}^{-1}$ e $1,87 \text{ g.g}^{-1}$, respectivamente) e a farinha extrudada de milho integral apresentou o maior ($4,12 \text{ g.g}^{-1}$), sendo as condições de extrusão empregadas de 11% de umidade, 140°C e velocidade de rosca de 600 rpm. Sruthi, Rao e Rao (2021) verificaram que a farinha integral de sorgo apresentou maior capacidade de absorção de água (123,9%) em relação às farinhas das frações decorticadas em diferentes tempos de decorticação e diferentes teores de umidade do grão (114,3% a 121,8%), assim como ocorreu para o milho neste trabalho. O processo de extrusão também aumentou o IAA ($4,77$ a $6,15 \text{ g.g}^{-1}$) em relação a farinhas de sorgo nativo ($3,21 \text{ g.g}^{-1}$) no estudo realizado por Jafari, Koocheki e Milani (2017). Outros processos como fermentação, malteação, germinação e aquecimento ôhmico também já demonstraram capacidade de aumentar o IAA de farinhas de milho (ADEBIYI *et al.*, 2016; DIAS-MARTINS, 2019).

4.4.4 Propriedades de pasta das farinhas

As propriedades de pastas de farinhas estão relacionadas com o grau de cozimento da matéria-prima de interesse durante a extrusão e o comportamento do amido durante esse processo pode ser indicado por essas propriedades. O amido irá gelatinizar, se expandir e degradar durante a extrusão termoplástica (YADAV; DALBHAGAT; MISHRA, 2022). A Figura 3 exibe os perfis de viscosidade de pasta das farinhas de milho cruas e extrudadas.

Observou-se que as farinhas de milho cruas integrais e refinadas apresentaram perfis com temperaturas de pasta (pTemp), pico de viscosidade (PV), viscosidade final (FV) e tendência à retrogradação (SBV) típicos de amostras com amidos intactos, mas com níveis de viscosidade reduzidos devido à presença de outros constituintes como proteínas, fibras e lipídios que afetam as propriedades da pasta, atuando como interferentes e competidores por moléculas de água (BAXTER; ZHAO; BLANCHARD, 2010; MANSILLA; NAZAR; PÉREZ, 2020). Esses resultados foram inferiores aos relatados por Raggae e Abdel-Aal (2006) e Kharat et al. (2019) para farinha de milho, indicando que as amostras estudadas neste trabalho podem ter um maior teor de interferentes (fibras) que não contribuíram para o desenvolvimento de um alto pico de viscosidade (PV), mas foram semelhantes aos perfis encontrados por Sun et al. (2014) para o painço (*proso millet*). As farinhas extrudadas apresentaram perfis de pasta mais baixos do que as farinhas cruas, em que foram observadas reduções no pico de viscosidade (PV), na viscosidade final (FV) e na tendência à retrogradação (SBV), causadas por pequenas modificações no nível molecular da estrutura do amido nativo (MARTÍNEZ; ROSELL; GÓMEZ, 2014; WANG *et al.*, 2022).

Figura 3 – Perfil de viscosidade de pasta de farinhas de milho cruas e extrudadas

Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 4 apresenta os valores das propriedades de pasta das farinhas de milho crua e extrudadas. A temperatura de pasta (pTemp) das amostras cruas foi superior à das amostras extrudadas ($p < 0,05$), devido à integridade dos grânulos de amido e à maior necessidade de energia para iniciar o processo de absorção de água e de intumescimento. Além disso, os valores de início de formação de pasta (OPF) demonstram que as farinhas cruas integrais e refinadas tiveram baixas viscosidades (51 e 56,50 cP, respectivamente) em comparação com as cozidas por extrusão (75,50 e 82 cP) ($p < 0,05$), mostrando que as extrudadas tinham maior capacidade de se ligarem às moléculas de água e gerarem um rápido intumescimento, como resultado da fragmentação/modificação do amido. O pico de viscosidade (PV) e a queda de viscosidade no período de manutenção a 95 °C (TV) foram afetadas pelo tratamento de extrusão termoplástica, mas a presença de PV nas amostras extrudadas indica que o processo não foi muito severo, assim como encontrado por Comettant-Rabanal et al. (2021).

Ademais, observou-se que o pico de viscosidade da farinha crua integral foi maior que o da farinha crua refinada. Esse comportamento incomum pode estar relacionado à uma baixa proporção de amilose no amido de milho, levando à diminuição de regiões amorfas com menor compressibilidade de grânulos de amido e à presença de compostos fenólicos e sua contribuição para o aumento do PV (MANSILLA; NAZAR; PÉREZ, 2020).

Da mesma forma, o parâmetro de quebra de viscosidade (BDV), que indica a capacidade de degradação do amido (DANGI; YADAV; YADAV, 2019), diminuiu nas amostras cozidas por extrusão, mas em maior extensão na amostra extrudada refinada, indicando que o impacto e a severidade do tratamento térmico foram mais intensos nesta amostra, pois o amido foi

exposto ao tratamento térmico em maior extensão quando o grão foi decorticado. Já a viscosidade final (FV) e a tendência à retrogradação (SBV) diminuíram após o processo de extrusão, indicando que as amostras cozidas têm menor tendência ao processo de retrogradação do que as cruas e menor capacidade de reassociação das moléculas de amilose e amilopectina. A retrogradação do amido promove um aumento de sua cristalinidade, da dureza do gel e a sinérese (liberação de água) e, assim, apresenta um papel importante na textura, qualidade e aceitabilidade dos alimentos. Logo, a retrogradação excessiva pode provocar alteração na textura, como o endurecimento, sensação de produto envelhecido e separação de água durante o armazenamento de alimentos que possuem amido em sua composição, levando à uma redução de qualidade (SCOTT; AWIKA, 2023).

Tabela 4 – Propriedades de viscosidade da pasta de farinhas de milho cruas e extrudadas

Amostras	pTemp (°C)	OPF (cP)	PV (cP)	TV 95 °C (cP)	BDV (cP)	FV (cP)	SBV (cP)
Crua integral	76,58 ± 0,88 ^a	51,00 ± 0,00 ^b	720,50 ± 1,08 ^a	437,00 ± 0,32 ^a	283,50 ± 9,19 ^a	1747,50 ± 27,58 ^a	1310,50 ± 28,99 ^a
Crua refinada	75,50 ± 0,42 ^a	56,50 ± 9,19 ^b	586,50 ± 41,72 ^b	328,50 ± 23,33 ^b	258,00 ± 18,38 ^a	1272,00 ± 10,56 ^b	943,50 ± 111,02 ^b
Extrudada Integral	73,08 ± 1,03 ^b	75,50 ± 0,71 ^a	387,00 ± 9,90 ^c	117,00 ± 7,07 ^c	270,00 ± 2,83 ^a	432,00 ± 12,73 ^c	315,00 ± 5,66 ^c
Extrudada Refinada	72,23 ± 2,02 ^b	82,00 ± 4,24 ^a	252,50 ± 53,03 ^d	93,00 ± 11,31 ^c	159,50 ± 41,72 ^b	345,00 ± 74,95 ^c	252,00 ± 63,64 ^c

Fonte: Dados da pesquisa.

Médias ± desvio padrão com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste LSD de Fisher ($p > 0,05$).

pTemp: temperatura de pasta, OPF: início de formação de pasta, PV: pico máximo de viscosidade a 95 °C, TV: queda de viscosidade no período de manutenção a 95 °C, BDV: quebra de viscosidade, FV: viscosidade final e SBV: tendência à retrogradação.

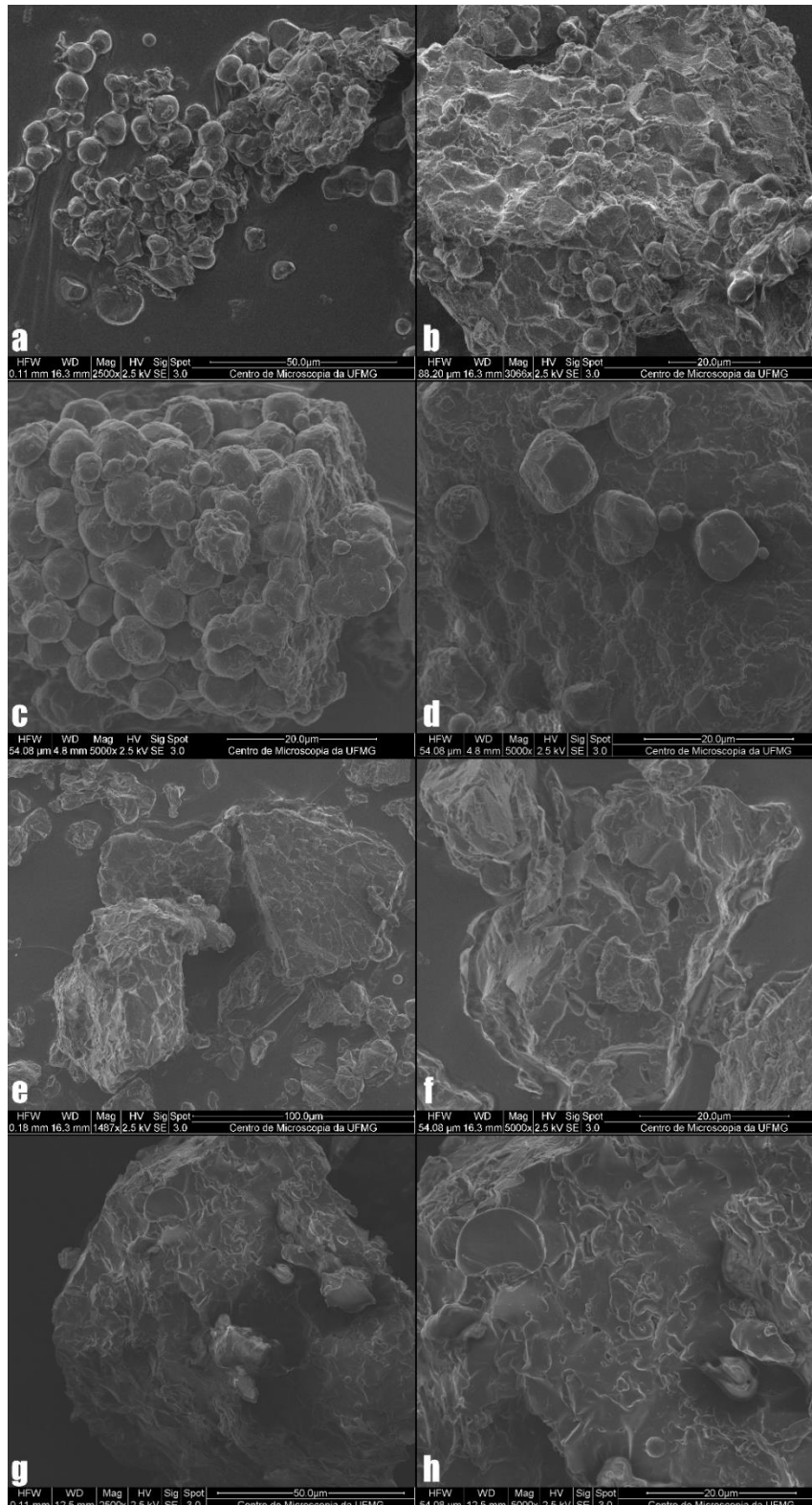
4.4.5 Microscopia eletrônica de varredura

A microscopia eletrônica de varredura foi utilizada para observar a microestrutura das farinhas de milheto cruas e extrudadas a fim de comparar os materiais e identificar as modificações morfológicas. As imagens de microscopia eletrônica podem fornecer informações sobre espaços vazios ou poros, o tamanho dos orifícios, a existência de fraturas/rachaduras, a estrutura espacial e a orientação estrutural das células (YADAV; DALBHAGAT; MISHRA, 2022; YI *et al.*, 2022).

Na Figura 4 é possível observar as imagens de microscopia das farinhas de milheto estudadas. A partir das micrografias é possível observar que as farinhas cruas, tanto refinadas como integrais (a, b, c, d), apresentaram estrutura granular mais regular em comparação às extrudadas (e, f, g, h) e com maior quantidade de grânulos uniformes, intactos, esféricos e com tamanhos grandes e pequenos, com formação de cachos, assim como encontrado por Jafari, Koocheki e Milani (2017) para farinha de sorgo nativo. Essa observação corrobora o perfil de propriedades de pasta típico de amostras com amidos íntegros, observado no item 3.4. Adebisi *et al.* (2016) verificou que os grânulos de farinhas de milheto nativa/crua, maltada e fermentada também eram redondos ou poligonais, mas na farinha crua a estrutura granular era menor, irregular e compacta em comparação com as tratadas por malteação e fermentação. Wang *et al.* (2023) verificaram que a morfologia de amido nativo de *proso millet* apresentava-se como polígonos irregulares com poucas cavidades ou fissuras nas superfícies, enquanto o amido modificado quanto aos teores de umidade e submetidos a diferentes temperaturas apresentaram alguns danos, rachaduras e fragmentações na superfície da partícula, além da formação de agregados em alguns casos.

A extrusão causou alterações na morfologia das farinhas de milheto refinadas e integrais. Este processo provocou a degradação da estrutura granular com a perda da cristalinidade e da forma dos grânulos, dando origem a uma superfície mais lisa com partículas desagregadas, o que provavelmente se deve à lixiviação da amilose dos grânulos de amido e ao efeito de fusão ou plastificação dos grânulos, quando submetidos ao tratamento térmico durante o processo de extrusão (JAFARI; KOOCHKEI; MILANI, 2017; YADAV; DALBHAGAT; MISHRA, 2022). Além disso, esse processo pode ainda promover quebra de ligações glicosídicas; desnaturação de proteínas e consequente formação de complexos de amido-proteína e amido-lipídeo causando as diversas mudanças significativas na microestrutura dos produtos extrudados à base de milheto (YADAV; DALBHAGAT; MISHRA, 2022).

Figura 4 – Microscopia eletrônica de varredura de farinhas de milho: crua refinada (a, b) (aumento de 2500x e 3066x); crua integral (c, d) (aumento de 5000x); extrudada refinada (e, f) (aumento de 1487x e 5000x) e extrudada integral (g, h) (aumento de 2500x e 5000x)



Fonte: Dados da pesquisa.

4.5 Conclusão

Conclui-se que a decorticação e a extrusão dos grãos de milho afetaram as características e propriedades de pasta das farinhas obtidas. Todas as amostras apresentaram coloração clara, mas a farinha crua integral apresentou-se mais escura do que farinha a crua refinada. As farinhas cruas apresentaram microestrutura mais regular com maior quantidade de grânulos uniformes, intactos e esféricos, em comparação às extrudadas, que apresentaram superfície lisa com partículas desagregadas. As amostras refinadas apresentaram menor índice de absorção de água do que as amostras integrais. A extrusão aumentou significativamente a capacidade de absorção de água da farinha integral, o que pode ser vantajoso para o desenvolvimento de alimentos que precisam de maior viscosidade, podendo ter a função como espessante. As farinhas extrudadas apresentaram menor tendência à retrogradação, característica que pode ser útil para o desenvolvimento de produtos de panificação. Assim, as farinhas produzidas possuem potencial para serem utilizadas na produção de diferentes produtos alimentícios, inclusive os isentos de glúten. Sugere-se para estudos futuros realizar a avaliação do impacto desses processos na composição nutricional, compostos bioativos e atividade antioxidante, além da estabilidade à oxidação e microbiológica, e o desenvolvimento de alimentos com a aplicação destas farinhas.

4.6 Referências

- AACC. AACC International Method 55-40.01. Particle size of wheat flour by laser instrument. *In: Approved Methods of the American Association of Cereal Chemist*. 11. ed.: AACC International, 2010a.
- AACC. AACC International Method 56-20.01. Hydration Capacity of Pregelatinized Cereal Products. *In: Approved Methods of the American Association of Cereal Chemist*. 11. ed. AACC International, 2010b.
- ADEBIYI, J. A.; OBADINA, A. O.; MULABA-BAFUBIANDI, A. F.; ADEBO, O. A.; KAYITESI, E. Effect of fermentation and malting on the microstructure and selected physicochemical properties of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) flour and biscuit. **Journal of Cereal Science**, v. 70, p. 132–139, 2016.
- AKINOLA, S. A.; BADEJO, A. A.; OSUNDAHUNSI, O. F.; EDEMA, M. O. Effect of preprocessing techniques on pearl millet flour and changes in technological properties. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 4, p. 992–999, 2017.
- BAXTER, G.; ZHAO, J.; BLANCHARD, C. Albumin significantly affects pasting and textural characteristics of rice flour. **Cereal Chemistry**, v. 87, n. 3, p. 250–255, 2010.
- BUITIMEA-CANTÚA, N. E.; TORRES-CHÁVEZ, P. I.; LEDESMA-OSUNA, A. I.; RAMÍREZ-WONG, B.; ROBLES-SÁNCHEZ, R. M.; SERNA-SALDÍVAR, S. O. Effect of

defatting and decortication on distribution of fatty acids, phenolic and antioxidant compounds in sorghum (*Sorghum bicolor*) bran fractions. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 10, p. 2166–2175, 2013.

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

DANGI, N.; YADAV, B. S.; YADAV, R. B. Pasting, rheological, thermal and gel textural properties of pearl millet starch as modified by guar gum and its acid hydrolysate. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 139, p. 387–396, 2019.

DIAS-MARTINS, A. M. **Efeitos de diferentes processamentos sobre a qualidade nutricional e funcional de grãos de milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.)**. 2019. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2019.

DIAS-MARTINS, A. M.; CAPPATO, L. P.; DA COSTA MATTOS, M.; 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**, v. 85, p. 120–129, 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**, v. 109, p. 175–186, 2018.

DIEZ-SÁNCHEZ, E.; QUILES, A.; LLORCA, E.; REIBNER, A. M.; STRUCK, S.; ROHM, H.; HERNANDO, I. Extruded flour as techno-functional ingredient in muffins with berry pomace. **LWT**, v. 113, p. 108300, 2019.

DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

DUNFORD, E. K.; MILES, D. R.; POPKIN, B.; NG, S. W. Whole Grain and Refined Grains: An Examination of US Household Grocery Store Purchases. **Journal of Nutrition**, v. 152, n. 2, p. 550–558, 2022.

FANG, F.; HE, Y.; ZHAO, J.; ZHANG, Y.; CHEN, C.; HE, H.; WU, Q.; HU, M.; NIE, S.; XIE, M.; HU, J. Effects of boiling and steaming process on dietary fiber components and in vitro fermentation characteristics of 9 kinds of whole grains. **Food Research International**, v. 164, p. 112328, 2023.

FAROOQ, A. M.; LI, C.; CHEN, S.; FU, X.; ZHANG, B.; HUANG, Q. Particle size affects structural and in vitro digestion properties of cooked rice flours. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 118, p. 160–167, 2018.

GE, F.; XIA, R.; WU, D.; CHENG, W.; MENG, L.; WANG, Z.; TANG, X. Toward a comprehensive understanding of various milling methods on the physicochemical properties of

highland barley flours and eating quality of corresponding sugar-free cookies. **Food Chemistry**, v. 413, p. 135657, 2023.

JAFARI, M.; KOOCHKEI, A.; MILANI, E. Effect of extrusion cooking on chemical structure, morphology, crystallinity and thermal properties of sorghum flour extrudates. **Journal of Cereal Science**, v. 75, p. 324–331, 2017.

KHARAT, S.; MEDINA-MEZA, I. G.; KOWALSKI, R. J.; HOSAMANI, A.; C.T., R.; HIREGOUDAR, S.; GANJYAL, G. M. Extrusion processing characteristics of whole grain flours of select major millets (foxtail, finger, and pearl). **Food and Bioproducts Processing**, v. 114, p. 60–71, 2019.

LI, Z.; ZHAO, X.; ZHANG, X.; LIU, H. The Effects of Processing on Bioactive Compounds and Biological Activities of Sorghum Grains. **Molecules**, v. 27, n. 10, p. 3246, 2022.

LIU, Y.; CHEN, J.; WU, J.; LUO, S.; CHEN, R.; LIU, C.; GILBERT, R. G. Modification of retrogradation property of rice starch by improved extrusion cooking technology. **Carbohydrate Polymers**, v. 213, p. 192–198, 2019.

LUO, S.; KOKSEL, F. Application of physical blowing agents in extrusion cooking of protein enriched snacks: Effects on product expansion, microstructure, and texture. **Trends in Food Science & Technology**, v. 133, p. 49–64, 2023.

MANSILLA, P. S.; NAZAR, M. C.; PÉREZ, G. T. Flour functional properties of purple maize (*Zea mays* L.) from Argentina. Influence of environmental growing conditions. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 146, p. 311–319, 2020.

MARTÍNEZ, M. M.; ROSELL, C. M.; GÓMEZ, M. Modification of wheat flour functionality and digestibility through different extrusion conditions. **Journal of Food Engineering**, v. 143, p. 74–79, 2014.

MILESI, G.; RANGAN, A.; GRAFENAUER, S. Whole Grain Consumption and Inflammatory Markers: A Systematic Literature Review of Randomized Control Trials. **Nutrients**, v. 14, n. 2, p. 374, 2022.

MITRUS, M.; WÓJTOWICZ, A.; ONISZCZUK, T.; COMBRZYŃSKI, M.; BOUASLA, A.; KOCIRA, S.; CZERWIŃSKA, E.; SZPARAGA, A. Application of Extrusion-Cooking for Processing of White and Red Bean to Create Specific Functional Properties. **Applied Sciences**, v. 13, n. 3, p. 1671, 2023.

ONYEOZIRI, I. O.; TORRES-AGUILAR, P.; HAMAKER, B. R.; TAYLOR, J. R. N.; DE KOCK, H. L. Descriptive sensory analysis of instant porridge from stored wholegrain and decorticated pearl millet flour cooked, stabilized and improved by using a low-cost extruder. **Journal of Food Science**, v. 86, n. 9, p. 3824–3838, 2021.

PADMAJA, P. G.; KALAISEKAR, A.; VENKATESWARLU, R.; SHWETHA, S.; RAO, B. D.; TONAPI, V. A. Thermal treatment in combination with laminated packaging under modified atmosphere enhances the shelf life of pearl millet flour. **Food Chemistry Advances**, v. 2, p. 100190, 2023.

PASQUALONE, A.; COSTANTINI, M.; LABARBUTA, R.; SUMMO, C. Production of extruded-cooked lentil flours at industrial level: Effect of processing conditions on starch

gelatinization, dough rheological properties and techno-functional parameters. **LWT**, v. 147, p. 111580, 2021.

PESSANHA, K. L. F.; MENEZES, J. P. de; SILVA, A. dos A.; FERREIRA, M. V. da S.; TAKEITI, C. Y.; CARVALHO, C. W. P. Impact of whole millet extruded flour on the physicochemical properties and antihyperglycemic activity of gluten free bread. **LWT - Food Science and Technology**, v. 147, p. 111495, 2021.

RAGAE, S.; ABDEL-AAL, E. S. M. Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. **Food Chemistry**, v. 95, n. 1, p. 9–18, 2006.

ROMÁN, L.; REGUILÓN, M. P.; GÓMEZ, M. Physicochemical characteristics of sauce model systems: Influence of particle size and extruded flour source. **Journal of Food Engineering**, v. 219, p. 93–100, 2018.

SCOTT, G.; AWIKA, J. M. Effect of protein–starch interactions on starch retrogradation and implications for food product quality. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 2023.

SHIRAZI, S. L.; KOOCHAKI, A.; MILANI, E.; MOHEBBI, M. Production of high fiber ready-to-eat expanded snack from barley flour and carrot pomace using extrusion cooking technology. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 6, p. 2169–2181, 2020.

SRUTHI, N. U.; RAO, P. S.; RAO, B. D. Decortication induced changes in the physicochemical, anti-nutrient, and functional properties of sorghum. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 102, p. 104031, 2021.

STATGRAPHICS TECHNOLOGIES. **Statgraphics Centurion versão 15.2**. Virginia, USA. 2017.

SUN, Q.; GONG, M.; LI, Y.; XIONG, L. Effect of dry heat treatment on the physicochemical properties and structure of proso millet flour and starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 110, p. 128–134, 22 set. 2014.

TAN, B.; WU, N. N.; ZHAI, X. T. Solutions for whole grain food development. **Nutrition Reviews**, v. 78, p. 61–68, 2021.

TORRES-AGUILAR, P. C.; HAYES, A. M. R.; YEPEZ, X.; MARTINEZ, M. M.; HAMAKER, B. R. Formation of slowly digestible, amylose–lipid complexes in extruded wholegrain pearl millet flour. **International Journal of Food Science and Technology**, 2023.

VIDHYALAKSHMI, R.; MEERA, M. S. Dry heat and ultrasonication treatment of pearl millet flour: effect on thermal, structural, and in-vitro digestibility properties of starch. **Journal of Food Measurement and Characterization**, 2023.

WANG, J.; YE, Y.; CHAI, Z.; LIU, H.; WEI, X.; YE, X.; TIAN, J.; FANG, H. Physicochemical properties and in vitro digestibility of proso millet starch modified by heat-moisture treatment and annealing processing. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 235, p. 123829, 2023.

WANG, Q.; LI, L.; WANG, T.; ZHENG, X. A review of extrusion-modified underutilized cereal flour: chemical composition, functionality, and its modulation on starchy food quality. **Food chemistry**, v. 370, p. 131361, 2022.

YADAV, G. P.; DALBHAGAT, C. G.; MISHRA, H. N. Effects of extrusion process parameters on cooking characteristics and physicochemical, textural, thermal, pasting, microstructure, and nutritional properties of millet-based extruded products: A review. **Journal of Food Process Engineering**, v. 45, n. 9, p. e14106, 2022.

YANG, Y.; JIAO, A.; LIU, Q.; XU, E.; CHEN, Y.; JIN, Z. Functional and physical properties of naked barley-based unexpanded extrudates: effects of low temperature. **International Journal of Food Properties**, v. 23, n. 1, p. 1886–1898, 2020.

YI, C.; QIANG, N.; ZHU, H.; XIAO, Q.; LI, Z. Extrusion processing: A strategy for improving the functional components, physicochemical properties, and health benefits of whole grains. **Food Research International**, v. 160, p. 111681, 2022.

5 DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE BOLOS INTEGRAIS FONTES DE FIBRA ELABORADOS COM FARINHA EXTRUDADA DE MILHETO (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) INTEGRAL

5.1 Resumo

O milho é um cereal com rica composição nutricional e utilizado na alimentação humana em países africanos e asiáticos. Contudo, apesar de sua disponibilidade e qualidade nutricional, no Brasil, é usado somente como cobertura vegetal e alimentação animal. Para satisfazer às demandas do mercado de busca por alimentação saudável, os bolos com substituição parcial ou total da farinha de trigo por outras fontes de cereais integrais têm sido alvo de estudos, bem como o seu enriquecimento com fibras. O uso da farinha de milho integral na fabricação de produtos de panificação é uma alternativa para popularizar o consumo deste cereal pela população brasileira e a adição de fibras vai ao encontro das tendências de mercado atuais. Com isso, o objetivo foi desenvolver e caracterizar bolos integrais contendo farinha extrudada de milho e diferentes fontes de fibra quanto à composição e características físico-químicas e sensoriais. Cinco formulações de bolos integrais contendo farinha extrudada de milho foram desenvolvidas: controle (sem adição de fibras) e adicionadas de farelo de trigo, farelo de aveia, farelo de arroz ou psyllium. Foram realizadas análises para determinação da composição centesimal, atividade de água, volume, cor da crosta e do miolo e textura instrumental dos bolos. Para a análise sensorial, foram aplicados os testes de aceitação, intenção de compra e o teste descritivo *check-all-that-apply* (CATA) com 104 avaliadores não treinados. A adição das fontes de fibras reduziu significativamente ($p < 0,05$) o teor de umidade dos bolos, o que provavelmente se deve à capacidade das fibras de se ligarem à água. Todas as formulações foram consideradas fontes de fibras. Não houve diferença ($p > 0,05$) entre as amostras em relação ao volume específico e para a cor externa dos bolos, porém para a cor miolo, as fibras tornaram os bolos mais escuros e mais avermelhados. A formulação controle apresentou as maiores notas para todos os atributos e para intenção de compra, porém todas as amostras apresentaram aceitabilidade com notas médias de aceitação entre “gostei ligeiramente” (6) e “gostei muito” (8) e de intenção de compra entre “provavelmente compraria” (4) e “certamente compraria” (5). Os termos macio, úmido e doce impactaram de forma positiva a avaliação da impressão global das amostras, já os termos esfarelado e arenoso apresentaram impacto negativo na aceitação. As amostras controle, com farelo de trigo e com psyllium foram consideradas as mais macias; as amostras controle e com psyllium as mais úmidas; as amostras

controle e com farelo de aveia as mais doces e, por fim, as amostras com farelo de arroz e farelo de aveia foram as mais associadas aos termos esfarelado e arenoso. De um modo geral, as formulações controle e com psyllium foram aquelas mais associadas aos termos positivos e menos associadas aos termos negativos, além de apresentarem as maiores médias de aceitação para todos os atributos, com exceção da cor em que apenas a controle diferiu das demais. Portanto, os bolos desenvolvidos apresentam potencial de inserção do milheto no mercado brasileiro e abrem possibilidade para pesquisas no desenvolvimento de outros produtos com a utilização desse cereal e das fontes de fibras estudadas.

Palavras-chave: Cereais; panificação; farelo; psyllium; extrusão; check-all-that-apply.

5.2 Introdução

Os cereais e os produtos à base de cereais apresentam um papel significativo na alimentação humana como fonte de energia e de nutrientes (DIAS-MARTINS *et al.*, 2018; XU *et al.*, 2020). *Millet*, termo genérico que inclui várias espécies de grãos pequenos pertencentes à família *Poaceae*, é a sexta cultura de cereais mais produzida no mundo, com uma produção mundial que gira em torno de 31 milhões de toneladas (BANGAR *et al.*, 2021; DIAS-MARTINS *et al.*, 2018; PESSANHA *et al.*, 2021). O milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) ou *pearl millet* é a espécie mais produzida dentre as diversas variedades de *millets*. Ele é cultivado nas regiões tropicais áridas e semi-áridas da África e da Ásia, onde é predominantemente utilizado para consumo humano, caracterizando-se como alimento básico para promoção de segurança alimentar para as populações locais. Alguns produtos derivados do milheto consumidos nestes locais incluem pães, bolos, doces, mingau, cuscuz, bebidas fermentadas não alcoólicas e alcoólicas. Esse cereal é isento de glúten, apresenta baixo custo de produção, baixa incidência de micotoxinas, alta capacidade de extrair nutrientes e resistência a condições adversas, como salinidade e baixa fertilidade do solo, secas, fornecimento de água limitado e altas temperaturas (DIAS-MARTINS *et al.*, 2018; MAWOUMA *et al.*, 2022; SELLADURAI *et al.*, 2022; TAYLOR, 2016).

O milheto é fonte de nutrientes abrangendo carboidratos, fibras alimentares, proteínas, aminoácidos essenciais como metionina, treonina e lisina, minerais como ferro, cálcio, fósforo, potássio e magnésio, ácidos graxos poli-insaturados, que incluem o ácido linolênico ($\omega 3$), vitaminas como ácido fólico (B9) e compostos fenólicos (ácidos fenólicos e flavonoides), estes últimos responsáveis por suas propriedades antioxidantes (DIAS-MARTINS *et al.*, 2018;

KUMAR *et al.*, 2022; KUMARI *et al.*, 2022; OLIVEIRA *et al.*, 2021; SELLADURAI *et al.*, 2022). Entretanto, apesar de sua composição nutricional, baixo custo e disponibilidade, é uma cultura subutilizada em diversos países, como no Brasil, não sendo aplicada na alimentação humana.

Os bolos são muito populares entre pessoas de diferentes faixas etárias e classes sociais e consumidos como café da manhã ou lanche da tarde, principalmente devido ao sabor doce, textura macia, disponibilidade, praticidade, conveniência, longa estabilidade, preço e variedade. Eles são os produtos de panificação mais produzidos de forma industrial em diversos países, depois dos pães e biscoitos (ABDULLAH *et al.*, 2022; CAYRES *et al.*, 2020; JEDDOU *et al.*, 2017; KÖTEN, 2021; LEVENT; SAYASLAN; YEŞIL, 2021; XU *et al.*, 2020).

A massa dos bolos pode ser classificada como uma emulsão de óleo em água, tendo na fase aquosa contínua ingredientes secos dissolvidos ou suspensos (XU *et al.*, 2020). Sua formulação aceita diferentes ingredientes e variações, caracterizando-se como produtos versáteis, que podem ser enriquecidos com diversas matérias-primas, como coprodutos e fibras. Com o aumento do consumo de bolos e tendências de consumo de busca por alimentos saudáveis, há uma demanda crescente por esses produtos com um melhor perfil nutricional e, assim, a substituição total ou parcial da farinha de trigo por outras farinhas de cereais integrais tem sido estudada (ÁVILA *et al.*, 2017; CAYRES *et al.*, 2021; INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS - ITAL, 2014; MARBOH; MAHANTA, 2022; MENDES *et al.*, 2021).

Os grãos integrais são aqueles compostos pelo endosperma amiláceo, gérmen e farelo. Eles apresentam alto teor de fibras, vitaminas, minerais e substâncias bioativas, como fitoquímicos polifenólicos, como fenóis, flavonoides e carotenoides (luteína, zeaxantina e β -criptoxantina). Estudos têm demonstrado que o consumo dos grãos integrais pode auxiliar a reduzir a ocorrência de doenças crônicas, a atingir a ingestão diária recomendada de fibras alimentares e micronutrientes, além de melhorar a qualidade da dieta (DREWNOWSKI *et al.*, 2021; LIU *et al.*, 2021; SANDERS *et al.*, 2021; SEAL *et al.*, 2021; TAN; WU; ZHAI, 2021; YI *et al.*, 2022; ZHANG *et al.*, 2021). Porém, em consequência ao alto teor de fibras, os produtos feitos com grãos integrais podem apresentar alteração de sabor e textura, com uma sensação de textura arenosa. A aplicação de alguns tratamentos físicos e biológicos, como extrusão termoplástica, moagem ultrafina, fermentação e germinação, podem reduzir esse efeito melhorando a textura, o sabor e a qualidade nutricional, reduzindo seu conteúdo de compostos

antinutricionais e aumentando a aceitação pelos consumidores (TAN; WU; ZHAI, 2021; YI *et al.*, 2022).

A extrusão termoplástica é um processo em que as matérias-primas, condicionadas a um determinado teor de umidade, entram em um cilindro onde são comprimidas, submetidas a alta temperatura e alta pressão e à ação mecânica de uma rosca rotativa (PASQUALONE *et al.*, 2021; YI *et al.*, 2022). Essa tecnologia possui alta produtividade, baixos custos operacionais, alta eficiência energética, tempos de processamento curtos e tem diversos efeitos bioquímicos, como a geleificação do amido, fusão e degradação dos grânulos de amido, desnaturação de proteínas, aumento de fibra alimentar solúvel, inativação das enzimas lipolíticas e aumento do conteúdo de compostos bioativos (CAYRES *et al.*, 2021; PAESANI; BRAVO-NÚÑEZ; GÓMEZ, 2021; PASQUALONE *et al.*, 2021; YADAV; DALBHAGAT; MISHRA, 2022; YI *et al.*, 2022). Devido à degradação e/ou pré-gelatinização do amido e capacidade de absorção de água a baixas temperaturas, as farinhas extrudadas ou pré-gelatinizadas têm sido utilizadas para melhorar a hidratação em massas de pão e aumentar viscosidade a frio na massa de bolos, auxiliando a reduzir a saída de gases durante a mistura da massa e proporcionando maior número de núcleos de gás (CAYRES *et al.*, 2021; ROMÁN; REGUILÓN; GÓMEZ, 2018).

A ingestão de grãos integrais juntamente com fibras alimentares provenientes de cereais tem sido associada a um papel benéfico na saúde intestinal e na modulação da microbiota intestinal (DREWNOWSKI *et al.*, 2021). Conforme a legislação brasileira, para que um alimento contendo cereais e pseudocereais seja classificado como integral, o produto tal como exposto à venda deve apresentar no mínimo 30% de ingredientes integrais e a quantidade dos ingredientes integrais deve ser superior à dos ingredientes refinados (BRASIL, 2022a).

Uma maneira de promover maior consumo de fibras é a adição de ingredientes fontes de fibras em alimentos industrializados populares, fáceis de obter e práticos, como os bolos (ÁVILA *et al.*, 2017; CAYRES *et al.*, 2021; MA *et al.*, 2022). Diversas fontes de fibras têm sido utilizadas para o enriquecimento de produtos de panificação, como farelos de cereais (trigo, aveia, sorgo, arroz, milho, cevada, centeio), psyllium, inulina, goma guar, amido resistente e subprodutos do processamento de alimentos e de bebidas (ÁVILA *et al.*, 2017; FRADINHO; NUNES; RAYMUNDO, 2015; GUL *et al.*, 2015; GULARTE *et al.*, 2012; JEDDOU *et al.*, 2017; KIUMARSI *et al.*, 2019; MA *et al.*, 2022; NAKOV *et al.*, 2020; RENZETTI; THEUNISSEN; HORREVORTS, 2021; RIOS *et al.*, 2020; SHARMA *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2019).

Os farelos de cereais são matérias-primas de baixo custo, consideradas como subprodutos da fabricação de farinhas refinadas, que possuem uma quantidade considerável de fibras, majoritariamente insolúveis, além de já serem comumente utilizados em alimentos comerciais. Dessa forma, se caracterizam como alternativas para adição em produtos de panificação em virtude de sua composição nutricional e apelo como reaproveitamento de subprodutos (PRASADI; JOYE, 2020; RENZETTI; THEUNISSEN; HORREVORTS, 2021). O *psyllium*, por sua vez, é uma fonte de fibras que está em crescente participação no mercado de panificação e se caracteriza por um alto conteúdo de fibras, predominantemente solúveis. Essa matéria-prima promove uma alteração da textura estabilizando emulsões e aumentando a viscosidade dos produtos alimentícios, mas geralmente não altera o sabor do produto (FRADINHO; NUNES; RAYMUNDO, 2015; FRANCO *et al.*, 2020).

Diante disso, a utilização da farinha de milheto no desenvolvimento de produtos de panificação comumente consumidos e aceitos, como os bolos, é uma alternativa viável para a popularização do consumo deste cereal, sendo a aplicação do processo de extrusão conveniente para melhorar a qualidade do produto. Além disso, o uso de farinha integral e a adição de fibras vão ao encontro da tendência de busca por alimentos saudáveis estabelecida no mercado. Assim, o objetivo do trabalho foi desenvolver e caracterizar bolos integrais contendo farinha extrudada de milheto e diferentes fontes de fibra quanto à composição e características físico-químicas e sensoriais.

5.3 Material e métodos

O presente trabalho foi realizado nos Laboratórios de Embalagens; de Tecnologia de Cereais e Produtos Amiláceos e de Análise Sensorial do Departamento de Alimentos da Universidade Federal de São João del-Rei *campus* Sete Lagoas (UFSJ – CSL). O projeto foi aprovado pelo Comitê de Pesquisa e Ética Humana para condução dos experimentos que envolvem a análise sensorial dos bolos produzidos com o registro CAAE 60865622.0.1001.5149.

5.3.1 Materiais

Os grãos de milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) ADR 9070 foram fornecidos pela empresa Atto Sementes®. A farinha extrudada de milheto foi produzida na Embrapa Agroindústria de Alimentos (Rio de Janeiro, Brasil). Os demais ingredientes para a produção dos bolos foram adquiridos em estabelecimentos comerciais das cidades de Sete Lagoas (MG)

e no mercado *online* (*websites* de venda de ingredientes), eram de uso alimentício e estavam dentro do prazo de validade.

5.3.2 Obtenção da farinha extrudada de milheto integral

Para obtenção da farinha extrudada de milheto integral, os grãos inteiros de milheto foram previamente limpos por meio de um separador aero mecânico Clipper Office Tester 400/B (A.T. Ferrell Co., Bluffton, EUA) acoplado com peneiras de 7,5 mm e 8 mm. Em seguida, foram moídos em um moinho granulador de facas e martelos – 7,5 cv (TREU 95-018-B, Rio de Janeiro, Brasil) acoplado com uma peneira de aço inoxidável com abertura de 1 mm. A farinha obtida no processo de moagem dos grãos foi alimentada em extrusora de dupla rosca Cleextral Evolum HT25 (Cleextral Inc., Firminy, França), a uma vazão de 10 kg.h⁻¹, equipada com uma matriz de formato circular de 1 furo com diâmetro de 8 mm e um cortador de 2 lâminas, com velocidade de rosca constante de 250 rpm e perfil de temperatura, da alimentação para a saída, de: 25, 25, 60, 90, 120, 120, 120, 90, 60 e 60 °C. A vazão de alimentação de sólidos foi de 10 kg.h⁻¹, a vazão de água foi de 2 L.h⁻¹ e o teor de umidade na saída da extrusora de aproximadamente 21%. Os extrudados foram coletados em bandejas e secos em estufa de circulação de ar (Hauber Macanuda, Santa Catarina, Brasil) a 60 ± 2 °C por 24 horas. Após o processamento, os extrudados foram moídos no mesmo moinho granulador de facas e martelos – 7,5 cv (TREU 95-018-B, Rio de Janeiro, Brasil), mas acoplado com uma peneira de aço inoxidável com abertura de 1,25 mm, obtendo farinha com aproximadamente 84% do tamanho de partículas (granulometria) menor que 500 µm.

5.3.3 Formulação e produção dos bolos integrais

Os bolos foram elaborados com farinha extrudada de milheto integral e adicionados de quatro fontes de fibras: farelo de trigo, farelo de aveia, farelo de arroz ou psyllium. Testes de formulações foram realizados baseando-se em formulações disponíveis na literatura (ÁVILA *et al.*, 2017; GULARTE *et al.*, 2012; NAKOV *et al.*, 2020; PAESANI; BRAVO-NÚÑEZ; GÓMEZ, 2021) e estas foram adaptadas para o desenvolvimento de um bolo integral com farinha extrudada de milheto sem adição de fibras (controle). A partir da formulação controle, quatro novas formulações foram elaboradas adicionando farelo de trigo, farelo de aveia, farelo de arroz ou psyllium em proporções adequadas para serem consideradas fontes de fibras pela legislação brasileira (BRASIL, 2020a), conforme cálculo teórico. Logo, as concentrações de

cada fibra a serem adicionadas nas formulações eram diferentes a fim de atender ao requisito. Todas as formulações foram produzidas atendendo às boas práticas de fabricação.

As formulações desenvolvidas estão descritas na Tabela 1:

Tabela 1 – Formulações de bolos integrais contendo farinha extrudada de milho integral com e sem adição de fibras

Formulações					
Ingredientes	FCO	FAV	FAR	FTR	FPS
Ovos	230 g (18,4%)	230 g (16,8%)	230 g (17,3%)	230 g (17,8%)	230 g (18,0%)
Açúcar cristal	160 g (12,8%)	160 g (11,7%)	160 g (12,0%)	160 g (12,4%)	160 g (12,5%)
Óleo de soja	160 g (12,8%)	160 g (11,7%)	160 g (12,0%)	160 g (12,4%)	160 g (12,5%)
Farinha de trigo integral	120 g (9,6%)	120 g (8,7%)	120 g (9,0%)	120 g (9,3%)	120 g (9,4%)
Farinha extrudada de milho integral	250 g (20,0%)	250 g (18,2%)	250 g (18,8%)	250 g (19,3%)	250 g (19,6%)
Leite integral	220 g (17,6%)	220 g (16,0%)	220 g (16,6%)	220 g (17,0%)	220 g (17,2%)
Sorbitol	28 g (2,2%)	28 g (2,0%)	28 g (2,1%)	28 g (2,2%)	28 g (2,2%)
Maltitol	28 g (2,2%)	28 g (2,0%)	28 g (2,1%)	28 g (2,2%)	28 g (2,2%)
Fermento químico em pó	20 g (1,6%)	20 g (1,5%)	20 g (1,5%)	22 g (1,5%)	22 g (1,6%)
Emulsificante (monoglicerídeos de ácidos graxos destilados, sal de ácidos graxos, monoestearato de sorbitana e polioxietileno de monoestearatos de sorbitana)	17 g (1,4%)	17 g (1,2%)	17 g (1,3%)	17 g (1,3%)	17 g (1,3%)
Propionato de cálcio	0,3 g (0,02%)	0,3 g (0,02%)	0,3 g (0,02%)	0,3 g (0,02%)	0,3 g (0,02%)

Aroma artificial de baunilha	14 g (1,1%)	14 g (1,0%)	14 g (1,1%)	14 g (1,1%)	14 g (1,1%)
Farelo de aveia	-	125 g (9,1%)	-	-	-
Farelo de arroz tostado	-	-	82 g (6,2%)	-	-
Farelo de trigo fino	-	-	-	45 g (3,5%)	-
Psyllium	-	-	-	-	30 g (2,3%)

Fonte: Dados da pesquisa.

FCO: bolo controle; FAV: bolo com farelo de aveia; FAR: bolo com farelo de arroz; FTR: bolo com farelo de trigo; FPS: bolo com psyllium.

Os bolos foram produzidos conforme metodologia descrita a seguir: os ovos, o óleo de soja, o açúcar, o emulsificante, o sorbitol, o maltitol e o aroma artificial de baunilha foram misturados em uma batedeira (FAET Dulka 6 velocidades) em velocidade média por dois minutos e meio. Em seguida, foram adicionados aos poucos a mistura da farinha de trigo integral e da farinha extrudada de milho integral, com propionato de cálcio, e cada uma das fibras, quando fosse o caso, alternando com o leite e misturando na batedeira em velocidade média por dois minutos e meio. O fermento foi o último ingrediente a ser adicionado e sua homogeneização com a massa foi feita de forma manual com auxílio de um *fouet*. A massa do bolo foi colocada em uma assadeira para cupcakes com orifícios de 7 cm de diâmetro e 3 cm de altura, untada com óleo de soja, sendo distribuídos 45 g de massa por orifício. Em seguida, a massa foi assada em forno elétrico de lastro (Forno Elétrico Roma Inox Venâncio de Lastro 220V modelo FERI90) por 30 minutos ± 2 a 150 °C ± 2 °C, girando-se as formas aos 20 minutos para cocção mais uniforme. Após o término do processo de cozimento, o bolo foi retirado do forno, resfriado e embalado. Os bolos desenvolvidos podem ser observados na Figura 1:

Figura 1 – Bolos integrais contendo farinha de milho e adicionados de diferentes fontes de fibras



Fonte: Dados da pesquisa.

FCO: bolo controle; FAV: bolo com farelo de aveia; FAR: bolo com farelo de arroz; FTR: bolo com farelo de trigo; FPS: bolo com psyllium.

5.3.4 Análises físico-químicas

Foram realizadas análises para determinação da composição centesimal, atividade de água, volume, cor da crosta e do miolo e textura instrumental dos bolos conforme descrição abaixo. As análises físico-químicas foram realizadas seguindo um delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três repetições das produções dos bolos.

5.3.4.1 Composição centesimal

A determinação da composição centesimal dos bolos elaborados foi realizada com três repetições e em triplicata de acordo com as seguintes análises: umidade (Método 925.09) (AOAC, 2005), cinzas (Método 900.02) (AOAC, 2005), proteínas (Método 991.20, fator de conversão de 6,25) (AOAC, 2005) e lipídeos (Método 920.39C) (AOAC, 2005). As fibras alimentares foram determinadas em duplicata pelo método enzimático-gravimétrico (Método 985.29) (AOAC, 2005) e os carboidratos foram determinados por diferença, em que o peso da fração de lipídeos, proteínas, umidade, fibras e cinzas foi descontado do peso total da amostra.

5.3.4.2 Atividade de água

A atividade de água dos bolos foi determinada em triplicata por meio do equipamento de medição de atividade de água LabTouch-aw (Novasina).

5.3.4.3 Volume específico

O volume dos bolos foi avaliado em triplicata pelo método de deslocamento de sementes de painço e o volume específico foi calculado pela relação entre o volume do bolo e seu peso, conforme o método 10-05.01 da AACC International (AACC, 2010a).

5.3.4.4 Avaliação objetiva da cor

A avaliação da cor da crosta e do miolo dos bolos foi realizada em quatro replicatas com o auxílio de um colorímetro portátil (Minolta Chroma meter CR-210) por leitura direta da reflectância do sistema de coordenadas retangulares L^* , a^* e b^* , referentes à luminosidade (variando de 0 a 100), à cromaticidade, variando entre os tons vermelho (+) e verde (-), e à saturação, que varia do amarelo (+) ao azul (-), respectivamente.

5.3.4.5 Análise da textura instrumental

O perfil de textura foi avaliado em temperatura ambiente com o analisador de textura TA.XT^{Plus} (Stable Micro Systems) conforme o método 74-09.01 da AACC International (AACC, 2010b) com três repetições em cinco replicatas, utilizando uma probe cilíndrica de 36 mm de diâmetro, altura da amostra de 4 cm, diâmetro da amostra de 6 cm e dupla compressão. Os parâmetros analisados para determinar a textura foram: firmeza (N), elasticidade, coesividade e resiliência.

5.3.5 *Elaboração de tabela de informação nutricional*

Foram elaboradas as tabelas de informação nutricional dos bolos produzidos por análises laboratoriais para gorduras totais, proteínas e fibras alimentares e por cálculo indireto para os demais nutrientes, que foi efetuado a partir das quantidades dos ingredientes das formulações com informações presentes na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TBCA (TBCA, 2020), no FoodData Central (USDA, 2023) para consulta do teor de açúcares ou disponibilizadas pelos fornecedores, quando os ingredientes não estavam descritos nas bases de dados (BRASIL, 2020b).

5.3.6 *Análises microbiológicas*

Para avaliar se os produtos desenvolvidos atendiam aos padrões microbiológicos para “pães, bolos, bolachas, biscoitos e outros produtos de panificação, estáveis à temperatura ambiente” preconizados na Instrução Normativa nº 161, de 01 de julho de 2022 (BRASIL,

2022b), logo após a fabricação dos bolos, foram realizadas em duplicata as análises de pesquisa de *Salmonella*/25 g e contagem de *Bacillus cereus* presuntivo/g, *Escherichia coli*/g e bolores e leveduras/g conforme as metodologias descritas no Manual Analítico Bacteriológico (Bacteriological Analytical Manual - BAM/FDA) (FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 1998).

5.3.7 Análise sensorial

O público-alvo para a execução dos testes sensoriais foi composto por pessoas que consomem bolos, de todos os gêneros e com idade superior a 18 anos. O recrutamento dos avaliadores foi realizado por meio de convite extensivo aos membros da comunidade acadêmica e civil consumidores habituais de bolos. Os critérios de seleção foram a ausência de aversão ao produto, disponibilidade, motivação e interesse em participar da análise sensorial. Foram excluídos dos testes pessoas que apresentassem restrição alimentar a algum ingrediente presente na formulação (Tabela 1) e aquelas que estivessem com problemas de saúde ou com uso contínuo de medicamentos que alterassem a percepção sensorial.

Os voluntários foram convidados a ler o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) para Pesquisa com Seres Humanos (APÊNDICE A) e, ao concordarem em participar da pesquisa, assinaram o TCLE, em duas vias, sendo uma destinada aos pesquisadores e a outra aos voluntários, que a partir deste momento foram denominados por avaliadores. Estes foram convidados a preencher um questionário para o delineamento do perfil dos participantes (APÊNDICE B) abordando idade, gênero, escolaridade, frequência e motivo de consumo de bolos integrais e conhecimento sobre o milho antes da análise. A leitura do TCLE, a resposta do questionário e a análise sensorial foram realizadas no Laboratório de Análise Sensorial e a temperatura do laboratório foi mantida a $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ até o final da realização dos testes.

Quanto ao desenvolvimento dos testes sensoriais, as cinco amostras dos bolos integrais foram servidas em pratos descartáveis, identificadas com números de três dígitos aleatórios e apresentadas de forma monádica, balanceada e sequencial, no formato de blocos completos, juntamente com um copo descartável contendo água. Foram aplicados os testes de aceitação e de intenção de compra bem como o teste descritivo *Check-all-that-apply* (CATA) com 104 avaliadores não treinados.

5.3.7.1 Testes afetivos

Para o teste de aceitação, foram analisados os atributos de cor, aroma, sabor, textura e impressão global por meio de uma escala hedônica estruturada de 9 pontos com as opções variando de “1- desgostei extremamente” a “9- gostei extremamente”. Para o teste de intenção de compra, foi utilizada uma ficha contendo uma escala estruturada de 5 pontos com as opções variando de “1 - certamente não compraria” a “5 - certamente compraria” (APÊNDICE C).

A aceitabilidade dos produtos para todos os atributos foi calculada por meio do índice de aceitabilidade (IA), conforme expressão abaixo (DUTCOSKY, 2011).

$$IA (\%) = (A/B) \times 100$$

Em que: A: é a média dos resultados do teste de aceitação, de um produto.

B: é a maior nota obtida no teste de aceitação, de um produto.

5.3.7.2 Teste descritivo Check-all-that-apply (CATA)

O teste descritivo foi realizado na mesma sessão e imediatamente após o avaliador concluir os testes de aceitação e de intenção de compra. No teste CATA foi apresentada uma lista de termos de fácil compreensão que descreviam os produtos (APÊNDICE C), sem referências às intensidades (por exemplo, amarelo claro, muito amargo, leve), para que os avaliadores selecionassem todos que se aplicassem à descrição da amostra em análise. A ordem de apresentação dos termos na ficha avaliativa do CATA foi balanceada inter (cada avaliador recebeu a ficha com os termos em ordem diferente) e intra (cada amostra teve uma ordem diferente dos mesmos termos) participantes a fim de minimizar os erros implícitos atribuídos às respostas dos avaliadores (ALCANTARA; FREITAS-SÁ, 2018; ARES; JAEGER, 2015).

Os termos descritores foram obtidos previamente por meio de um grupo focal com 15 voluntários que aceitaram as mesmas condições do TCLE. O público-alvo do grupo focal foi composto por pessoas que não tinham aversão ao produto, não tinham restrição a algum ingrediente da formulação e que não estavam utilizando algum medicamento ou com problemas de saúde que interferissem na percepção sensorial. O grupo focal foi realizado em única sessão de 2 horas em que os voluntários foram apresentados às amostras de bolos, solicitados a descrever as características dos produtos e, em consenso, selecionar no máximo 15 termos descritores que possivelmente se aplicassem na percepção dos avaliadores. Os resultados do teste CATA foram associados aos de impressão global do teste afetivo para tratamento dos dados.

5.3.8 Análise estatística dos resultados

Os resultados da composição centesimal, atividade de água, cor, volume específico, textura e testes sensoriais afetivos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e avaliados por meio do teste de Tukey ao nível de 5% de significância ($p \leq 0,05$) com auxílio do *software* InfoStat, versão 2020 (DI RIENZO et al., 2020). O banco de dados do teste descritivo CATA foi avaliado por meio do teste Q de Cochran ($p \leq 0,05$), comparações múltiplas pareadas usando o procedimento de diferença crítica e análise de correspondência por meio do *software* XLSTAT *free trial*, versão 5.1 (LUMIVERO, 2023).

5.4 Resultados e discussão

5.4.1 Composição centesimal e atividade de água

A composição centesimal e a atividade de água dos bolos integrais podem ser observadas na Tabela 2:

Tabela 2 – Composição centesimal e atividade de água de bolos integrais contendo farinha extrudada de milho e adicionados de diferentes fontes de fibra

Parâmetro	FCO	FAV	FAR	FTR	FPS
Atividade de água	0,870 ^a ± 0,01	0,862 ^{ab} ± 0,01	0,852 ^b ± 0,02	0,872 ^a ± 0,01	0,868 ^{ab} ± 0,01
Umidade (%)	27,48 ^a ± 0,12	24,71 ^d ± 0,45	25,05 ^{cd} ± 0,71	26,41 ^b ± 0,30	25,87 ^{bc} ± 1,04
Cinzas (%)	1,61 ^{bc} ± 0,09	1,79 ^b ± 0,03	2,45 ^a ± 0,06	1,77 ^b ± 0,04	1,48 ^c ± 0,36
Proteínas (%)	7,16 ^c ± 0,15	8,90 ^a ± 0,67	8,31 ^b ± 0,36	7,86 ^b ± 0,34	7,14 ^c ± 0,30
Gordura (%)	17,20 ^{ab} ± 0,91	16,09 ^b ± 1,13	18,46 ^a ± 1,46	17,88 ^a ± 1,27	18,58 ^a ± 1,13
Fibras alimentares (%)	4,65 ^b ± 0,21	5,40 ^{ab} ± 0,14	6,10 ^a ± 0,28	6,10 ^a ± 0,14	5,30 ^{ab} ± 0,28
Carboidratos (%)*	41,90	43,11	39,63	39,98	41,63

Fonte: Dados da pesquisa.

Médias ± desvio padrão com letras iguais na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). FCO: bolo controle; FAV: bolo com farelo de aveia; FAR: bolo com farelo de arroz; FTR: bolo com farelo de trigo; FPS: bolo com psyllium. *Não representam valores médios, pois foram obtidos por cálculo de diferença.

As fibras não provocaram alterações significativas para o parâmetro de atividade de água, com exceção de FAR que diferiu do controle ($p < 0,05$). O teor de umidade refere-se ao

conteúdo total de água presente em um alimento expresso em porcentagem por peso em base úmida, enquanto a atividade de água se relaciona à água disponível para ocorrência de reações químicas e crescimento microbiano e, consequentemente, à estabilidade do alimento (OZBEKOVA; KULMYRZAEV, 2019; VERA ZAMBRANO *et al.*, 2019). Assim, a atividade de água é um fator intrínseco importante para prevenir ou reduzir o crescimento microbiano, sendo que dependendo da faixa de atividade água em que o alimento se encontra, certos grupos de micro-organismos serão desfavorecidos (TAPIA; ALZAMORA; CHIRIFE, 2020). A faixa encontrada no presente trabalho (0,852 a 0,872) limita o crescimento da maioria das bactérias deteriorantes ou patogênicas, com algumas exceções como bactérias halofílicas e *Staphylococcus aureus*, e não inibe o crescimento de fungos e leveduras (TAPIA; ALZAMORA; CHIRIFE, 2020). Porém, ressalta-se que atividade de água é apenas um dentre vários fatores intrínsecos que auxiliam no controle da atividade microbiana e, assim, não deve ser avaliado isoladamente. A interação entre os diferentes fatores será determinante no desenvolvimento dos micro-organismos (FORSYTHE, 2013).

Já em relação à umidade, a adição das fontes de fibras reduziu significativamente ($p < 0,05$) o teor de umidade dos bolos, o que provavelmente se deve à capacidade das fibras de se ligarem à água. Este parâmetro variou de 24,71% a 27,48% entre as formulações, sendo que FCO apresentou maior teor de umidade, enquanto FAV e FAR apresentaram os menores valores. Nakov *et al.* (2020) também observaram uma redução do teor de umidade ao adicionar o bagaço de uva em pó como fonte de fibras em formulações de bolos, em relação ao controle feito apenas com farinha de trigo, sendo que os valores encontrados pelos autores variaram de 19,52% a 23,43%. Os conteúdos de umidade encontrados neste trabalho se assemelham também a faixas relatadas na literatura para bolos (ÁVILA *et al.*, 2017; CAYRES *et al.*, 2021; GIAROLA *et al.*, 2022; KÖTEN, 2021; LEVENT; SAYASLAN; YEŞIL, 2021; MENDES *et al.*, 2021; PUCHOL-MIQUEL *et al.*, 2021; YEŞILKANAT; SAVLAK, 2021).

O milho pode ser considerado como uma fonte adequada de minerais, com exceção do cálcio, sendo que o conteúdo médio de cinzas presente no milho é de 1,8% e abrange em quantidades significativas os minerais fósforo, potássio e magnésio (DIAS-MARTINS *et al.*, 2018; TAYLOR, 2016). A amostra FAR apresentou o maior teor de cinzas (2,45%), enquanto a amostra apresentou FPS e FCO apresentaram os menores teores (1,48 e 1,61%). O farelo de arroz apresenta, em média, um teor considerável de cinzas [26%, conforme a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA, 2023)] e superior ao das demais fontes de fibras utilizadas, o que provavelmente contribuiu para um aumento significativo ($p > 0,05$) do teor de

cinzas do bolo, além de ter sido a segunda fonte de fibra adicionada em maior proporção. Mendes et al. (2021) desenvolveram bolos com substituição parcial da farinha de trigo por farelo de arroz desengordurado e observaram que a adição do farelo de arroz também contribuiu para um aumento do teor de cinzas.

As proteínas são o segundo constituinte presente em maior quantidade nos grãos de milho (variando de 9,7 a 14,5%), o que pode contribuir para o teor de proteína dos bolos. Ressalta-se que os aminoácidos essenciais com maior destaque no milho são a leucina e isoleucina (DIAS-MARTINS *et al.*, 2018). As diferentes fontes de fibras aumentaram ($p < 0,05$) o teor de proteínas dos bolos em relação ao controle, com exceção de FPS que não diferiu de FCO ($p < 0,05$), provavelmente pelo fato de o psyllium ter sido a fonte de fibras adicionada em menor quantidade. Isso indica que além de contribuírem no teor de fibras, os farelos podem contribuir para um aumento da concentração de proteínas. O teor de proteínas para os bolos produzidos por Mendes et al. (2021) (7,4 a 9,9%) apresentou-se também numa faixa semelhante à encontrada neste trabalho (7,14 a 8,9%).

Os bolos adicionados de fibras não diferiram ($p > 0,05$) quanto ao teor de gordura em relação ao controle. Gularte et al. (2012) também não observaram alteração no teor de gordura nos bolos desenvolvidos com adição de diferentes fontes de fibras.

A porcentagem mínima de fibras que um produto deve conter para ser considerado fonte de fibras, conforme a Instrução Normativa nº 75, de 8 de outubro de 2020 (BRASIL, 2020a) é de 2,5 g de fibras por porção, sendo que a porção para bolos de todos os tipos sem recheio é de 60 g (BRASIL, 2020b). Considerando estes requisitos, todos os bolos desenvolvidos podem de fato ser classificados como fonte de fibras, já que as formulações FCO, FAV, FAR, FTR e FPS apresentaram, respectivamente: 2,8 g de fibras/porção; 3,2 g de fibras/porção; 3,7 g de fibras/porção; 3,7 g de fibras/porção e 3,2 g de fibras/porção. Além de enriquecer os alimentos proporcionando benefícios à saúde de quem os consome, como regulação da microbiota intestinal, as fibras podem auxiliar na melhoria da textura e da estabilidade do alimento, das características reológicas, da qualidade sensorial e podem prolongar a vida útil do alimento em virtude de sua capacidade de se ligar à água (DHINGRA *et al.*, 2012; HU *et al.*, 2023; JEDDOU *et al.*, 2017; KIUMARSI *et al.*, 2019; RIOS *et al.*, 2020). Este resultado vai ao encontro da tendência atual por procura de produtos com perfil nutricional saudável pelos consumidores.

Para os carboidratos, os valores obtidos ficaram entre 39,63% e 43,11%, faixa inferior aos valores encontrados por Ávila et al. (2017), Gentscheva et al. (2022) e Gularte et al. (2012), mas que se situa dentro de outras relatadas na literatura (FARZANA *et al.*, 2021; MARBOH;

MAHANTA, 2022; MENDES *et al.*, 2021), para bolos produzidos com diferentes matérias-primas.

5.4.2 Informação nutricional

Na Figura 2 podem ser observadas as tabelas de informação nutricional dos bolos integrais desenvolvidos. De acordo com os limites de açúcares adicionados, gorduras saturadas e sódio da Instrução Normativa nº 75, de 08 de outubro de 2020, (BRASIL, 2020a) para fins de declaração da rotulagem nutricional frontal, os bolos desenvolvidos não apresentariam a lupa de advertência para estes componentes. Os valores encontrados para açúcares adicionados (entre 13 e 14 g), gordura saturada (entre 3,2 e 3,5 g) e sódio (entre 206 e 227 mg) foram inferiores aos limites estabelecidos para alimentos sólidos: quantidade maior ou igual a 15 g de açúcares adicionados por 100 g do alimento; quantidade maior ou igual a 6 g de gorduras saturadas por 100 g do alimento e quantidade maior ou igual a 600 mg de sódio por 100 g do alimento.

Figura 2 – Tabelas de Informação Nutricional de bolos integrais contendo farinha extrudada de milho e adicionados de diferentes fontes de fibra

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL FCO			
Porções por embalagem: 1 porção			
Porção: 60 g (1 bolinho)			
	100 g	60 g	%VD*
Valor energético (kcal)	362	217	11
Carboidratos totais (g)	40	24	8
Açúcares totais (g)	15	9,2	
Açúcares adicionados (g)	14	8,6	17
Proteínas (g)	7,2	4,3	9
Gorduras totais (g)	17	10	15
Gorduras saturadas (g)	3,5	2,1	10
Gorduras trans (g)	0	0	2
Fibra alimentar (g)	4,7	2,8	9
Sódio (mg)	227	136	7
*Percentual de valores diários fornecidos pela porção.			

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL FAV			
Porções por embalagem: 1 porção			
Porção: 60 g (1 bolinho)			
	100 g	60 g	%VD*
Valor energético (kcal)	365	219	11
Carboidratos totais (g)	41	25	8
Açúcares totais (g)	14	8,4	
Açúcares adicionados (g)	13	7,9	16
Proteínas (g)	8,9	4,9	10
Gorduras totais (g)	16	10	15
Gorduras saturadas (g)	3,2	1,9	10
Gorduras trans (g)	0	0	2
Fibra alimentar (g)	5,4	3,2	13
Sódio (mg)	206	124	6
*Percentual de valores diários fornecidos pela porção.			

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL FAR			
Porções por embalagem: 1 porção			
Porção: 60 g (1 bolinho)			
	100 g	60 g	%VD*
Valor energético (kcal)	367	220	11
Carboidratos totais (g)	40	24	8
Açúcares totais (g)	14	8,6	
Açúcares adicionados (g)	14	8,1	16
Proteínas (g)	8,3	5,0	10
Gorduras totais (g)	19	11	17
Gorduras saturadas (g)	3,5	2,1	11
Gorduras trans (g)	0	0	2
Fibra alimentar (g)	6,1	3,7	15
Sódio (mg)	213	128	6
*Percentual de valores diários fornecidos pela porção.			

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL FTR			
Porções por embalagem: 1 porção			
Porção: 60 g (1 bolinho)			
	100 g	60 g	%VD*
Valor energético (kcal)	357	214	11
Carboidratos totais (g)	39	24	8
Açúcares totais (g)	15	8,9	
Açúcares adicionados (g)	14	8,3	17
Proteínas (g)	7,9	4,8	10
Gorduras totais (g)	18	11	16
Gorduras saturadas (g)	3,4	2,0	10
Gorduras trans (g)	0	0	2
Fibra alimentar (g)	6,1	3,7	15
Sódio (mg)	219	132	7
*Percentual de valores diários fornecidos pela porção.			

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL FPS			
Porções por embalagem: 1 porção			
Porção: 60 g (1 bolinho)			
	100 g	60 g	%VD*
Valor energético (kcal)	359	215	11
Carboidratos totais (g)	40	24	8
Açúcares totais (g)	15	9,0	
Açúcares adicionados (g)	14	8,4	17
Proteínas (g)	7,1	4,3	9
Gorduras totais (g)	19	11,4	18
Gorduras saturadas (g)	3,4	2,0	10
Gorduras trans (g)	0	0	2
Fibra alimentar (g)	5,3	3,2	13
Sódio (mg)	225	135	7
*Percentual de valores diários fornecidos pela porção.			

Fonte: Dados da pesquisa. FCO: bolo controle; FAV: bolo com farelo de aveia; FAR: bolo com farelo de arroz; FTR: bolo com farelo de trigo; FPS: bolo com psyllium.

5.4.3 Avaliação objetiva da cor e de volume específico

Os resultados de cor e volume específico dos bolos integrais produzidos estão descritos na Tabela 3:

Tabela 3 – Cor da crosta e do miolo e volume específico de bolos integrais contendo farinha extrudada de milho e adicionados de diferentes fontes de fibra

Parâmetro		FCO	FAV	FAR	FTR	FPS
Cor da crosta	L*	52,05 ^a ± 2,74	52,34 ^a ± 1,47	52,11 ^a ± 1,64	52,21 ^a ± 1,02	50,53 ^a ± 3,47
	a*	11,39 ^a ± 2,03	10,16 ^a ± 1,59	9,33 ^a ± 1,86	10,79 ^a ± 1,20	10,70 ^a ± 1,53
	b*	30,32 ^a ± 2,32	31,35 ^a ± 1,22	29,26 ^a ± 2,19	30,42 ^a ± 1,19	29,21 ^a ± 1,18
Cor do miolo	L*	57,04 ^a ± 4,71	53,25 ^b ± 3,74	53,77 ^{ab} ± 2,24	51,16 ^b ± 2,52	53,22 ^b ± 2,02
	a*	4,60 ^b ± 1,42	5,90 ^a ± 0,92	6,09 ^a ± 0,38	6,54 ^a ± 0,69	6,30 ^a ± 0,54
	b*	25,52 ^{ab} ± 1,28	25,64 ^{ab} ± 1,47	26,02 ^a ± 0,99	24,40 ^b ± 1,18	26,47 ^a ± 1,15
Volume específico (cm ³ .g ⁻¹)		1,90 ^a ± 0,16	1,77 ^a ± 0,08	1,91 ^a ± 0,13	1,74 ^a ± 0,08	1,78 ^a ± 0,16

Fonte: Dados da pesquisa.

Médias ± desvio padrão com letras iguais na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). FCO: bolo controle; FAV: bolo com farelo de aveia; FAR: bolo com farelo de arroz; FTR: bolo com farelo de trigo; FPS: bolo com psyllium.

A cor é uma característica relevante para os alimentos, pois caracteriza sua qualidade e impacta sua aceitação (ÁVILA *et al.*, 2017; HEDAYATI *et al.*, 2022; TOPKAYA; ISIK, 2019). A cor da crosta é resultante das reações de Maillard e de caramelização durante o assamento, enquanto no miolo a cor é diretamente associada às matérias-primas utilizadas, visto que a temperatura interna geralmente não excede 100 °C e não ocorrem essas reações (LEVENT; SAYASLAN; YEŞIL, 2021; MENDES *et al.*, 2021; PAESANI; BRAVO-NÚÑEZ; GÓMEZ, 2021). A adição das fibras não impactou ($p > 0,05$) os parâmetros de cor da crosta dos bolos produzidos. Os resultados para a cor externa demonstraram luminosidade intermediária ($L^* \sim 50$) e valores positivos para a^* e b^* , tendendo à mistura das cores vermelha e amarela, porém, com maior intensidade da cor amarela. Valores de a^* maiores que 2 e altos valores de b^* apontam para uma coloração laranja-marrom brilhante e intensa (GENTSCHEVA *et al.*,

2022). Esse comportamento foi observado tanto para a cor interna quanto para a cor externa dos bolos desenvolvidos.

No entanto, para a cor interna (miolo), foram observadas diferenças entre as amostras ($p < 0,05$). Para o parâmetro b^* , apenas a amostra FTR diferiu de FCO, com menor intensidade da cor amarela. As diferentes fontes de fibras tornaram os bolos mais escuros (menores valores de L^*), somente com FAR não diferindo ($p > 0,05$) de FCO, e mais avermelhados (maiores valores de a^*). Considerando o interior de um bolo, uma coloração mais clara é uma característica desejável, já que bolos com miolo de cor mais escura tendem a ser menos aceitos pelos consumidores (ÁVILA *et al.*, 2017). A alteração na cor de produtos de panificação elaborados com farelo de aveia, de arroz e de trigo e com psyllium já foi verificada também por outros autores com menor luminosidade e cor mais avermelhada (BAUMGARTNER *et al.*, 2018; MENDES *et al.*, 2021; NGUYEN *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2019).

Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre as amostras em relação ao volume específico, indicando que a adição das diferentes fibras, nas proporções utilizadas, não alterou essa característica dos bolos. O volume do bolo é em parte consequência do ar incorporado na massa (ÁVILA *et al.*, 2017). Dessa forma, o processo de produção padronizado para todas as amostras possivelmente contribuiu para incorporação de ar e expansão da massa de forma homogênea.

Estes resultados se assemelham aos de Akter *et al.* (2023) e Topkaya e Isik (2019) para bolos suplementados com farinha de casca de batata e com farinha de casca de romã, respectivamente, em que a adição de diferentes proporções das farinhas não alterou significativamente o volume específico dos bolos. Em contraste, a adição de farelo de arroz desengordurado (MENDES *et al.*, 2021), psyllium como substituto de gordura (BELORIO; SAHAGÚN; GÓMEZ, 2019) e farinhas de grão-de-bico e de castanha (GALLEGO *et al.*, 2022) reduziu o volume específico dos bolos.

5.4.4 Perfil instrumental de textura

A textura é um atributo que deve ser avaliado no desenvolvimento de novos produtos por ser um fator de extrema importância para a aceitação pelo consumidor e pode ser afetada pelos ingredientes utilizados e condições de processamento. A análise avalia a estrutura dos alimentos percebida por vários sentidos, principalmente o tato e pressão, por meio do estudo das características mecânicas após aplicação de uma força gerando uma curva de deformação (ÁVILA *et al.*, 2017; JEDDOU *et al.*, 2017).

A partir da análise do perfil de textura com dupla compressão foi possível obter dados para quatro parâmetros de textura para os bolos, sendo eles: firmeza (ou dureza), coesividade, elasticidade e resiliência. Os resultados podem ser observados na Tabela 4:

Tabela 4 – Perfil de textura de bolos integrais contendo farinha extrudada de milheto e adicionados de diferentes fontes de fibra.

Parâmetro	FCO	FAV	FAR	FTR	FPS
Firmeza (N)	6,62 ^c ± 1,16	7,38 ^c ± 1,01	9,81 ^a ± 1,51	7,69 ^{bc} ± 1,28	8,98 ^{ab} ± 2,38
Elasticidade	0,72 ^a ± 0,06	0,58 ^c ± 0,08	0,60 ^{bc} ± 0,04	0,69 ^a ± 0,09	0,67 ^{ab} ± 0,02
Coesividade	0,36 ^a ± 0,03	0,24 ^c ± 0,02	0,25 ^c ± 0,03	0,30 ^b ± 0,04	0,34 ^a ± 0,03
Resiliência	0,12 ^a ± 0,01	0,09 ^c ± 0,01	0,09 ^c ± 0,01	0,10 ^b ± 0,01	0,13 ^a ± 0,01

Fonte: Dados da pesquisa.

Médias ± desvio padrão com letras iguais na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). FCO: bolo controle; FAV: bolo com farelo de aveia; FAR: bolo com farelo de arroz; FTR: bolo com farelo de trigo; FPS: bolo com psyllium.

A firmeza representa a energia necessária para morder um bolo, sendo detectada como a força máxima medida durante a primeira compressão (JIA *et al.*, 2022). Todos os bolos desenvolvidos apresentaram baixos valores de firmeza, sendo considerados macios. Porém, os bolos adicionados com farelo de arroz e psyllium apresentaram maior firmeza ($p < 0,05$) em relação à amostra controle. Já as amostras FAV e FTR não diferiram da amostra controle ($p > 0,05$).

Mendes *et al.* (2021) encontraram maiores valores de firmeza nos bolos com substituição parcial da farinha de trigo por farelo de arroz desengordurado em 20% e 40%, quando comparados ao bolo controle, e correlacionaram o resultado ao baixo volume específico dessas formulações e sua capacidade de absorção de água. Porém, neste trabalho não houve diferença quanto ao volume específico entre as formulações. Fradinho, Nunes e Raimundo (2015) observaram que a firmeza de biscoitos também aumentou com a adição de psyllium e atribuíram este resultado à presença de xilose e arabinose, provenientes do psyllium, que promovem a interação entre os polissacarídeos e proteínas, fortalecendo a estrutura do produto.

A elasticidade é atribuída principalmente à agregação de proteínas e avalia a capacidade dos produtos de voltarem ao seu estado ou formato original após a compressão, sendo que quanto mais rapidamente o produto retornar, maior será a elasticidade (ÁVILA *et al.*, 2017; HEDAYATI *et al.*, 2022). Quanto a este parâmetro, os bolos FPS e FTR não apresentaram

diferença significativa em relação ao bolo controle ($p > 0,05$), enquanto a adição de farelo de aveia e de farelo de arroz provocou diminuição da elasticidade ($p < 0,05$). A adição de farelos pode promover a diluição das proteínas do glúten da farinha de trigo, competir por água com as proteínas ou as frações do farelo podem se ligar às proteínas, impactando suas propriedades de aglomeração (ABDULLAH *et al.*, 2021; MENDES *et al.*, 2021). Assim, como o farelo de aveia e o farelo de arroz foram adicionados em maior quantidade nas formulações, podem ter apresentado maior influência na elasticidade dos bolos do que as demais fibras.

A resiliência indica o poder do alimento em relutar a voltar à sua altura original (JIA *et al.*, 2022). Já a coesividade está relacionada à integridade da massa, medindo a força das ligações internas que definem a estrutura do alimento, e avalia a taxa de quebra na boca e facilidade de separação na mão (ÁVILA *et al.*, 2017; MARBOH; MAHANTA, 2022; NESPECA *et al.*, 2021). Quanto menores os valores de coesividade, mais difíceis de manipular e mais facilmente os produtos se desintegram (ÁVILA *et al.*, 2017). Para estes parâmetros, apenas a amostra com psyllium não diferiu ($p > 0,05$) da amostra controle, apresentando os maiores valores de coesividade e resiliência. As demais fibras causaram diminuição da coesividade e resiliência, afetando a estrutura interna e tornando os produtos mais frágeis e quebradiços. Isso indica que os farelos modificaram a estrutura interna do produto deixando os bolos mais frágeis, com menor coesividade e resiliência, uma vez que ambos indicam o quanto as moléculas do alimento permanecem unidas após a ação de uma força externa.

Estes resultados se assemelham aos encontrados por Jeddou *et al.* (2017) que também observaram redução na elasticidade e coesividade dos bolos desenvolvidos com a adição de fonte de fibras (casca de batata em pó) e por Gularte *et al.* (2012), em que a adição de fontes de fibra (fibra de aveia, goma guar e inulina) reduziu a resiliência e aumentou a firmeza de bolos sem-glúten. Porém, Gularte *et al.* (2012) observaram um aumento da coesividade com a adição das fibras, diferindo do presente trabalho.

A adição de hidrocoloides e emulsificantes pode melhorar a coesividade e a elasticidade de bolos pela melhoria da incorporação de bolhas de ar e da estabilidade da massa e aumento da integridade das paredes das células de gás (HEDAYATI *et al.*, 2022). Mesmo com o uso de emulsificante nas formulações desenvolvidas, os bolos adicionados dos farelos apresentaram influência na elasticidade, coesividade e resiliência. Dessa forma, sugere-se que para trabalhos futuros seja estudada uma maior concentração de emulsificante para as formulações com essas fontes de fibras, o uso de outros emulsificantes ou a adição de hidrocoloides, como as gomas.

5.4.5 Análises microbiológicas

Na Tabela 5 estão descritos os resultados das análises microbiológicas dos bolos integrais produzidos.

Tabela 5 – Análise microbiológica de bolos integrais contendo farinha extrudada de milho e adicionados de diferentes fontes de fibra

Micro-organismos	FCO	FAV	FAR	FTR	FPS
<i>E. coli</i>	<1,0x10 ¹ UFC/g estimado	<1,0x10 ¹ UFC/g estimado	<1,0x10 ¹ UFC/g estimado	<1,0x10 ¹ UFC/g estimado	<1,0x10 ¹ UFC/g estimado
<i>B. cereus</i> presuntivo	<1,0x10 ² UFC/g estimado	<1,0x10 ² UFC/g estimado	<1,0x10 ² UFC/g estimado	<1,0x10 ² UFC/g estimado	<1,0x10 ² UFC/g estimado
Bolores e leveduras	<1,0x10 ² UFC/g estimado	<1,0x10 ² UFC/g estimado	<1,0x10 ² UFC/g estimado	<1,0x10 ² UFC/g estimado	<1,0x10 ² UFC/g estimado
<i>Salmonella</i> /25g	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência

Fonte: Dados da pesquisa.

FCO: bolo controle; FAV: bolo com farelo de aveia; FAR: bolo com farelo de arroz; FTR: bolo com farelo de trigo; FPS: bolo com psyllium.

Todos os bolos produzidos estavam de acordo com os limites estabelecidos pela legislação brasileira conforme a Instrução Normativa nº 161, de 01 de julho de 2022 (BRASIL, 2022b) para pesquisa de *Salmonella*/25 g e contagem de *Bacillus cereus* presuntivo/g, *Escherichia coli*/g e bolores e leveduras/g e, dessa forma, foram classificados como sensorialmente seguros.

5.4.6 Análise sensorial

5.4.6.1 Grupo focal

Participaram do grupo focal 15 pessoas, com idade entre 22 e 24 anos, sendo oito mulheres e sete homens, pertencentes à comunidade acadêmica da Universidade Federal de São João del-Rei *campus* Sete Lagoas. Todos eram alunos de graduação em Engenharia de Alimentos. A sessão durou cerca de 2 horas e foram levantados 46 termos descritores para as cinco amostras de bolos que podem ser visualizados no Quadro 1:

Quadro 1 – Termos totais por atributo levantados no grupo focal sobre bolos integrais contendo farinha extrudada de milho e adicionados de diferentes fontes de fibra

COR: cor de produto integral, bege, homogêneo, escuro, marrom, caramelo, cor de cookie, torrado, açúcar mascavo, marrom avermelhado, uniforme, desuniforme.
AROMA: bolo de fubá, bolo de milho, erva doce, cereais, adocicado, baunilha, bolo caseiro.
TEXTURA: esfarelado, seco, macio, frágil/quebradiço, textura de fibras, junta na boca (coeso), residual arenoso, resistente à mastigação, firme, úmido, derrete na boca, oleoso, compacto, não residual ao engolir.
SABOR: bolo de fubá, neutro, produto integral, suave, levemente adocicado, sabor de ranço, farinha de trigo, cereais, suave, bolo caseiro, doce, bolo industrializado.

Fonte: Dados da pesquisa.

Após discussão, o grupo chegou a um consenso de 23 termos removendo os sinônimos, antônimos, relacionados à intensidade e neutros. Posteriormente, foi feita uma análise criteriosa dos termos selecionados pelo grupo focal a fim de retirar aqueles de difícil compreensão ou modificação para sinônimos/antônimos mais facilmente compreendidos pelos consumidores e apropriados aos produtos. Dessa forma, a lista final de termos descritores gerais dos bolos desenvolvidos apresentou 15 itens, sendo eles: marrom, cor caramelo, integral, cor uniforme, bege, bolo de fubá, aroma de erva doce, aroma de cereais, aroma de baunilha, bolo industrializado, esfarelado, macio, arenoso, úmido e doce.

5.4.6.2 Delineamento do perfil dos participantes dos testes de aceitação, de intenção compra e CATA

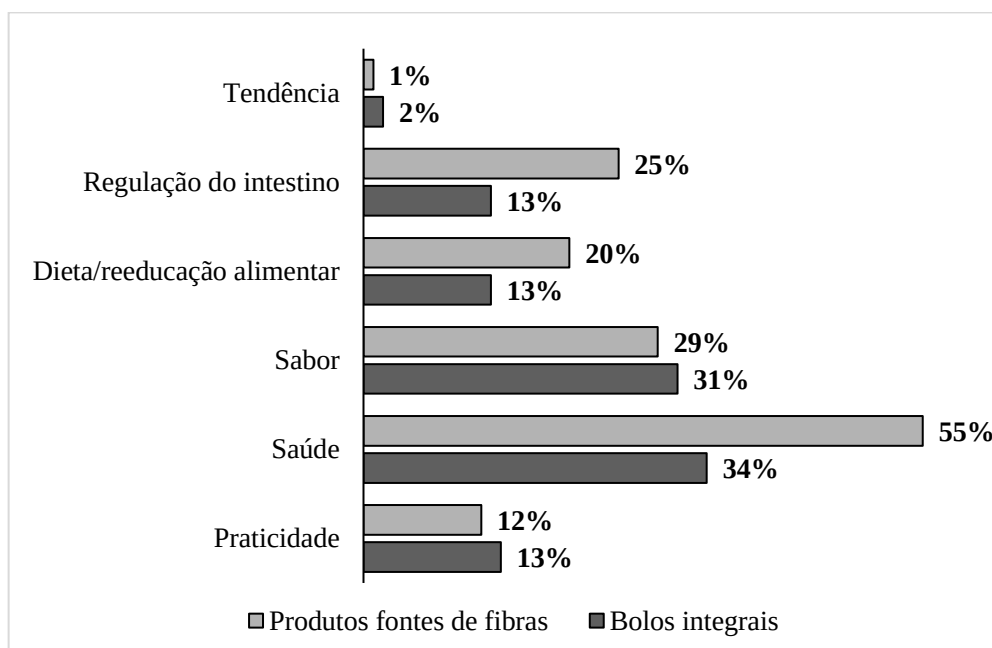
Com relação ao perfil dos participantes da análise sensorial nos testes afetivos, de intenção compra e CATA, dos 104 avaliadores, 60% eram do gênero feminino. A média de idade foi de 26,6 anos, sendo a faixa etária de 18-25 anos a mais assinalada (63%). A maioria dos avaliadores possuía ensino superior incompleto (65%), renda familiar de 1 a 5 salários mínimos (72%) e não estava seguindo alguma dieta especial (92%). Nas perguntas sobre hábitos de consumo, 98% afirmaram gostar de bolos, 85% de bolos integrais e 92% de produtos fontes de fibras. Para a frequência de consumo de bolos, bolos integrais e produtos fontes de fibras, a maioria dos participantes consomem de 1 a 3 vezes por mês (66%, 65% e 46%, respectivamente). Dessa forma, percebeu-se que a maioria dos participantes gostam e possuem o hábito de consumir bolos, integrais ou não, e produtos fontes de fibras, atendendo ao público-alvo para a análise sensorial.

Quanto ao momento em que preferem consumir bolos, havia possibilidade de marcar mais de uma opção e, assim, as opções mais assinaladas foram “lanche da tarde” (86%) e “café

da manhã” (76%), seguidas de “lanche da manhã” e “lanche da noite”, ambas com 26% de marcações. Este resultado evidencia a versatilidade desses produtos, indicando que os bolos são alimentos que podem ser consumidos em diferentes refeições.

Os motivos de consumo de bolos integrais e produtos fontes de fibra podem ser observados na Figura 3:

Figura 3 – Motivos de consumo de bolos integrais e produtos fontes de fibras dos participantes da análise sensorial



Fonte: Dados da pesquisa.

Os principais motivos do consumo bolos integrais e produtos fontes de fibras apontados pelos avaliadores são a saúde e o sabor. Logo, os dados indicam que a procura por bolos integrais e fontes de fibras no mercado se relaciona ao fato de serem considerados saudáveis e também saborosos. Sendo assim, bolos integrais e/ou fontes de fibras apresentam potencial de mercado por atenderem às demandas provenientes das mudanças dos hábitos alimentares com busca por alimentos saudáveis (INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS - ITAL, 2010, 2014).

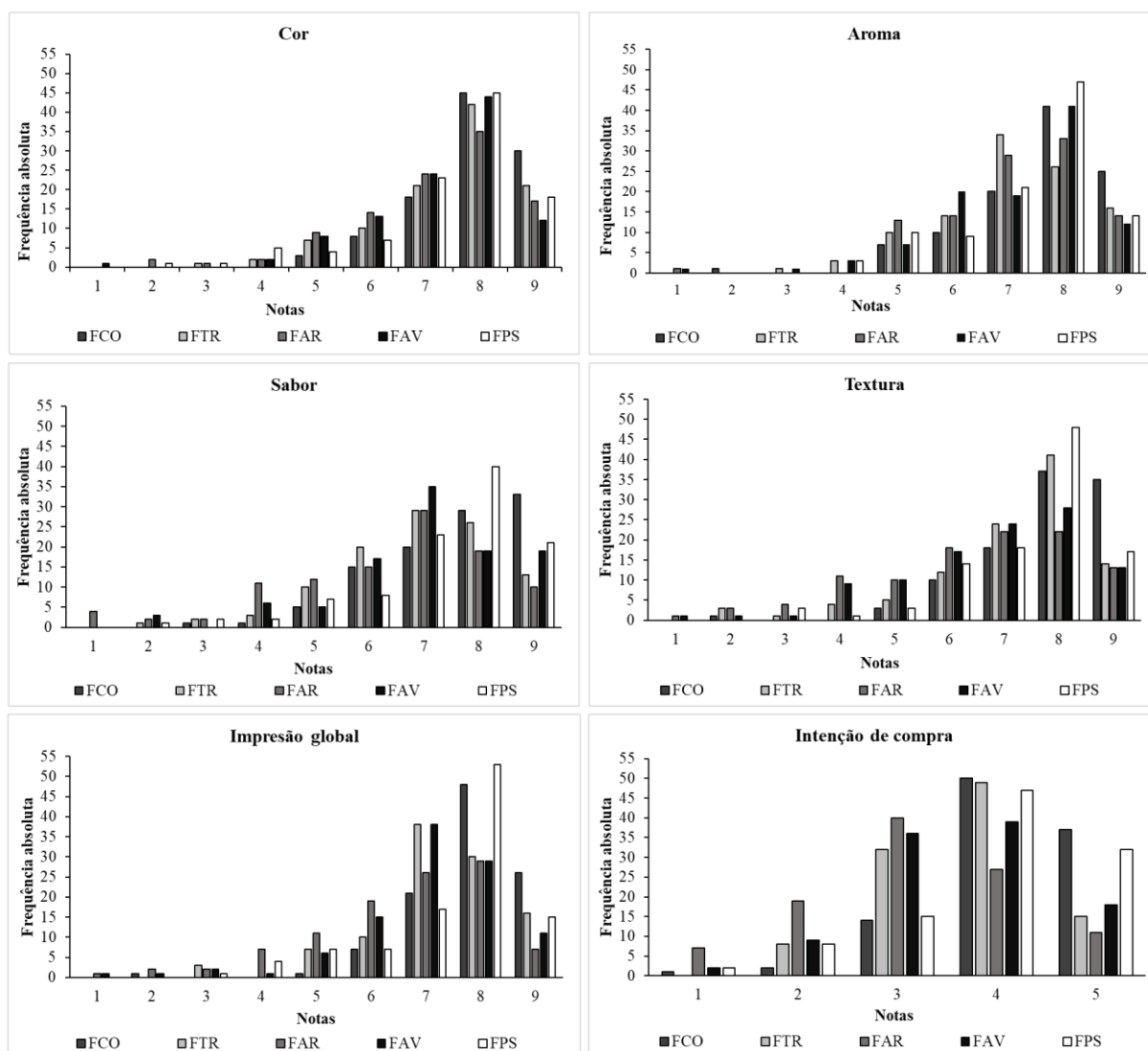
Dos 104 participantes, 60% não conheciam o milheto antes da análise sensorial e 82% nunca haviam consumido produtos contendo milheto. Estes resultados corroboram que este cereal ainda é pouco conhecido e difundido, mesmo em um ambiente acadêmico onde ocorrem pesquisas com milheto e, assim, pode ser uma oportunidade de mercado para inovação em produtos alimentícios e valorização de uma cultura subutilizada. As Nações Unidas declararam 2023 como o Ano Internacional do Milheto a fim de incentivar o aumento da produção global,

do processamento e do consumo eficiente promovendo o milheto a um componente principal na alimentação (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO, 2023). Dessa forma, a utilização do milheto na indústria alimentícia brasileira é uma oportunidade para atingir esses objetivos e, logo, o consumo de produtos com esse cereal deve ser estimulado com o aumento de pesquisas científicas no desenvolvimento de novos produtos.

5.4.6.3 Testes afetivos

As frequências das notas obtidas na análise sensorial dos bolos integrais formulados com farinha extrudada de milheto e adicionados de diferentes fontes de fibras estão apresentadas na Figura 4. Em todas as amostras, observou-se maior frequência de notas altas para todos os atributos (cor, aroma, sabor, textura e impressão global), com maior concentração nas notas 7 e 8, e baixa frequência para notas de rejeição, entre 1 e 4. Já para intenção de compra, houve maior número de pessoas que assinalaram uma nota intermediária (3) a alta (5).

Figura 4 – Frequência de pessoas que atribuíram notas sensoriais para cor, aroma, sabor, textura e impressão global e de intenção de compra de bolos integrais contendo farinha extrudada de milho e adicionados de diferentes fontes de fibra



Fonte: Dados da pesquisa.

FCO: bolo controle; FAV: bolo com farelo de aveia; FAR: bolo com farelo de arroz; FTR: bolo com farelo de trigo; FPS: bolo com psyllium.

As médias das notas obtidas na análise sensorial com o teste de aceitação, para cada atributo, e com o teste de intenção de compra podem ser observadas na Tabela 6:

Tabela 6 – Resultados de aceitação para cor, aroma, sabor, textura e impressão global e de intenção de compra de bolos integrais contendo farinha extrudada de milho e adicionados de diferentes fontes de fibra

Parâmetro	FCO	FAV	FAR	FTR	FPS
Cor	7,88 ^a	7,26 ^b	7,16 ^b	7,48 ^b	7,40 ^b
Aroma	7,60 ^a	7,12 ^b	7,14 ^b	7,11 ^b	7,36 ^{ab}
Sabor	7,61 ^a	6,97 ^{bc}	6,28 ^d	6,90 ^c	7,39 ^{ab}
Textura	7,83 ^a	6,76 ^{cd}	6,42 ^d	7,15 ^{bc}	7,45 ^{ab}
Impressão global	7,83 ^a	7,02 ^c	6,59 ^d	7,25 ^{bc}	7,44 ^{ab}
Intenção de compra*	4,15 ^a	3,60 ^c	3,15 ^d	3,68 ^{bc}	3,95 ^{ab}

Fonte: Dados da pesquisa.

Médias com letras iguais na linha não diferem entre si estatisticamente ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey. FCO: bolo controle; FAV: bolo com farelo de aveia; FAR: bolo com farelo de arroz; FTR: bolo com farelo de trigo; FPS: bolo com psyllium. *Parâmetro avaliado em escala de 1 a 5.

A formulação FCO apresentou as maiores notas para todos os atributos e para intenção de compra, provavelmente por conter menor teor de fibras que as demais (mesmo que também tenha sido considerada fonte de fibras), que geralmente interferem na aceitação sensorial. Com relação ao atributo cor, a amostra FCO diferiu de todas as amostras adicionadas de fibras ($p < 0,05$), sendo a mais aceita. Provavelmente isso pode ser atribuído ao fato de que era a amostra de coloração interna mais clara, conforme verificado na avaliação objetiva.

Porém, FCO não diferiu significativamente ($p > 0,05$) de FPS para os atributos de aroma, sabor, textura, impressão global e intenção de compra. As demais fibras reduziram ($p < 0,05$) a aceitação sensorial, quando comparadas ao controle, para todos os atributos e intenção de compra. A adição de fibras, principalmente insolúveis, pode provocar modificações na textura, como uma sensação residual de textura arenosa na boca, na aparência e no sabor, e coloração mais escura, o que pode resultar em menor aceitabilidade do produto em comparação a um alimento com menor teor de fibras (GÓMEZ *et al.*, 2010; MA *et al.*, 2022; TAN; WU; ZHAI, 2021; YI *et al.*, 2022; ZHAO *et al.*, 2018).

O psyllium é uma fibra solúvel que se comporta como um hidrocoloide e sua alta capacidade de retenção de água é uma das características mais importantes para adição aos alimentos, visto que pode contribuir para melhoria do volume e aparência, aumento da retenção de gás durante o assamento, melhoria da maciez, coesividade e elasticidade durante o armazenamento (BELORIO; GÓMEZ, 2021; FRATELLI *et al.*, 2021). Logo, a adição desta fonte de fibra pode manter e colaborar nas características tecnológicas e sensoriais dos

alimentos, como foi observado no presente trabalho. Silva et al. (2019) desenvolveram formulações de massas de pizza sem glúten a base de farinha de arroz e pasta de inhame adicionadas de fibras de psyllium e observaram que as amostras adicionadas de psyllium não diferiram com relação à cor, sabor e aroma do controle e ainda aumentaram a aceitação para a textura e impressão global, indicando que este ingrediente por conferir propriedades sensoriais semelhantes ou até mesmo superiores ao controle.

Não houve diferença ($p > 0,05$) entre as amostras adicionadas de fibras para os parâmetros de cor e aroma. Já para os atributos sabor, textura, impressão global e para a intenção de compra, a amostra FAR apresentou a menor média. O farelo de arroz apresenta um alto teor de gordura e presença de enzimas lipases, provenientes do rompimento das células pela remoção das camadas de farelo do endosperma durante a moagem, podendo levar à rancidez. Apesar ter sido utilizado o farelo de arroz tostado, cujo tratamento térmico aplicado tem como objetivo a inativação da lipase e estabilização do farelo, prolongando sua vida útil, pode ter ocorrido processo de oxidação anterior ao tratamento térmico ou ainda haver presença de lipase residual, causando características sensoriais indesejáveis (GUL *et al.*, 2015). Contudo, ressalta-se que não houve rejeição dessa amostra, apenas foi a menos aceita para estes parâmetros.

As médias de aceitação para os atributos cor e aroma ficaram entre “gostei moderadamente” (7) e “gostei muito” (8), enquanto para os atributos sabor, textura e impressão global as notas ficaram entre “gostei ligeiramente” (6) e “gostei muito” (8). Para intenção de compra, todas as amostras adicionadas de fibras apresentaram médias entre “tenho dúvidas se compraria” (3) e “provavelmente compraria” (4), enquanto FCO apresentou o resultado entre “provavelmente compraria” (4) e “certamente compraria” (5). Sendo assim, apesar de existirem diferenças entre as amostras, quanto aos parâmetros aceitação e intenção de compra todos os bolos integrais desenvolvidos apresentaram aceitabilidade com notas altas.

Para que um produto apresente aceitabilidade satisfatória, o IA deve ser igual ou maior que 70% (GULARTE, 2009). O IA para todos os atributos variou de 63,08% (intenção de compra de FAR) a 87,50% (cor de FCO); sendo que somente a amostra FAR apresentou IA inferior a 70% para um atributo (intenção de compra). Portanto, as formulações apresentaram resultados satisfatórios, com exceção de FAR para intenção de compra. Este resultado pode ser explicado pelo fato de que dentre todas as amostras, FAR foi a menos aceita em termos de aroma, sabor, textura e impressão global, o que refletiu na intenção de compra.

Adebiyi et al. (2017) produziram biscoitos de milho feitos a partir de farinhas de milho nativa, fermentada e malteada e obtiveram boa aceitabilidade sensorial, sendo que o

mais aceito para os atributos aroma, sabor e impressão global foi o biscoito feito com a farinha malteada, com médias entre 5,6 e 7,32. Oliveira et al. (2021) desenvolveram *snacks* extrudados a partir de griz de milho e milheto integral que foram sensorialmente aceitos com notas superiores a 6 (gostei um pouco) para todos os atributos avaliados (aparência, textura, aroma e impressão global). Nehra et al. (2021) produziram pães com 10, 20, 30 e 40% de milheto em substituição à farinha de trigo e obtiveram notas satisfatórias entre 5,5 e 7,2 com a adição de até 30% de farinha de milheto para os atributos sensoriais estudados (formato, cor, textura, aroma, sabor aceitabilidade global). Neste contexto, o resultado encontrado neste trabalho reforça os demais obtidos na literatura sobre o potencial uso do milheto para alimentação humana com aceitação sensorial pelos consumidores e potencial de mercado.

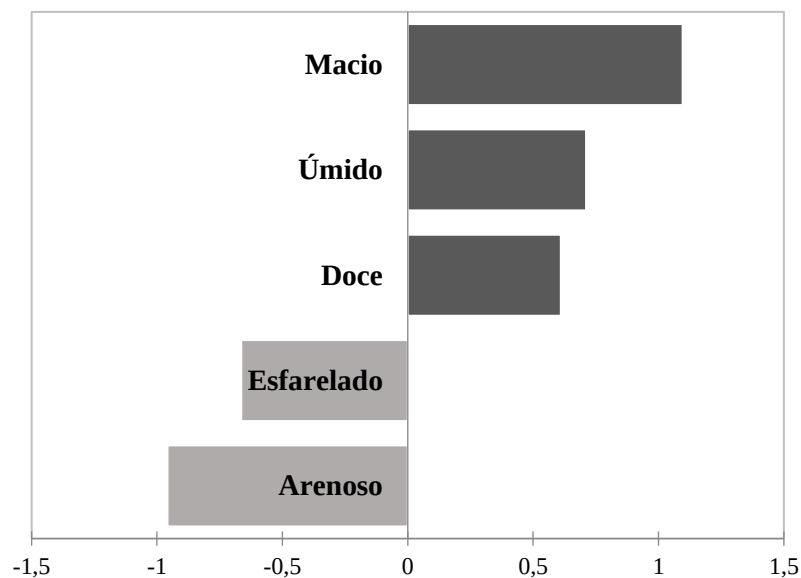
5.4.6.4 Teste descritivo Check-all-that-apply (CATA)

Considerando os resultados obtidos no CATA, a maioria dos avaliadores marcaram entre 26% e 44% dos termos. Já a porcentagem marcada para cada termo ficou na média entre 11% e 59%, sendo que o termo bolo industrializado foi o menos assinalado (9%) e o termo macio foi o mais assinalado (71%). Após este, os termos mais usados foram: integral (55%), cor uniforme (48%), úmido (47%) e doce (42%).

Os dados do teste Q de Cochran demonstraram que os termos bege, bolo industrializado, cor caramelo e bolo de fubá, selecionados no grupo focal, não foram significativos para diferenciar os produtos ($p > 0,05$). Quando um atributo apresenta a mesma intensidade entre os produtos estudados ou está presente em uma intensidade muito baixa, na maioria das vezes, esses atributos podem ser desconsiderados, pois as amostras não podem ser discriminadas por eles (ARES; VARELA, 2017). Isso foi observado para estes descritores, visto que os termos bege, cor caramelo e bolo de fubá foram assinalados em proporções muito similares entre os avaliadores e o termo bolo industrializado apresentou baixo índice de marcação pelos participantes.

Os termos macio, úmido e doce impactaram de forma positiva a avaliação da impressão global das amostras, já os termos esfarelado e arenoso apresentaram impacto negativo na aceitação, como pode ser observado na Figura 5. Dessa forma, para os consumidores, um bolo integral de milheto deve ser macio, úmido e doce, e não deve ser esfarelado e arenoso.

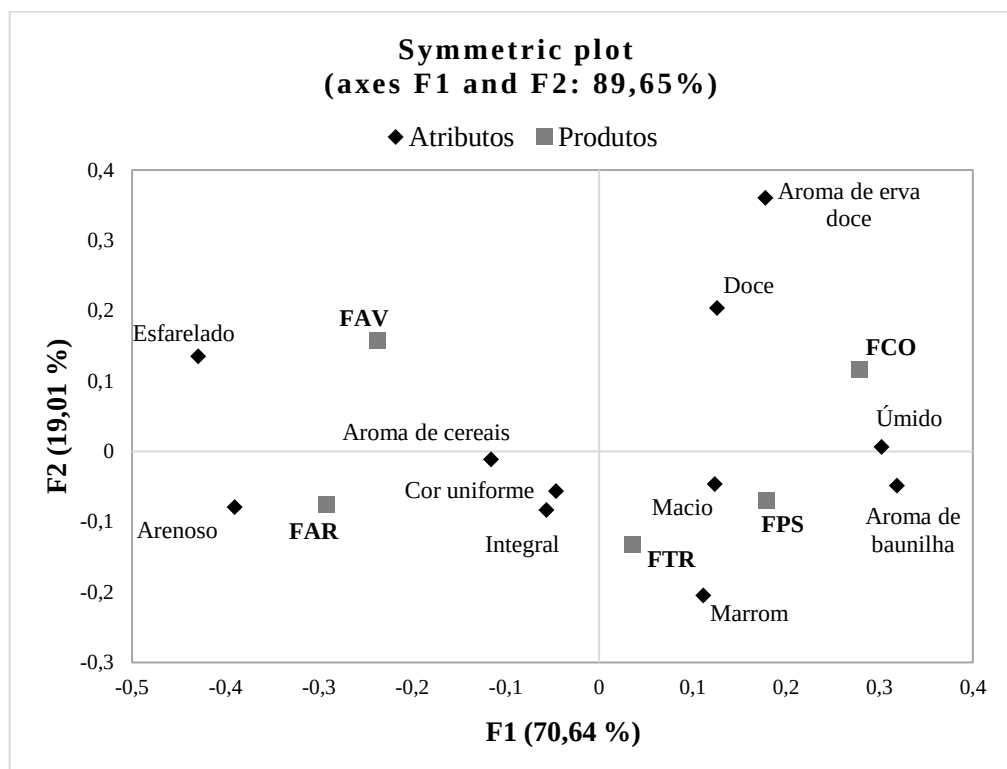
Figura 5 – Impacto médio ($p < 0,05$) dos termos CATA na impressão global de bolos integrais contendo farinha extrudada de milho e adicionados de diferentes fontes de fibra



Fonte: Dados da pesquisa.

As associações dos termos CATA com as amostras de bolos desenvolvidas podem ser observadas pela análise de correspondência demonstrada na Figura 6. Pode-se verificar que a explicação dos dados foi adequada (89,65%), com representação do componente principal 1 (F1) em 70,65% e do componente principal 2 (F2) com 19,01%.

Figura 6 – Análise de correspondência dos termos CATA significativos de bolos integrais contendo farinha extrudada de milho e adicionados de diferentes fontes de fibra



Fonte: Dados da pesquisa.

FCO: bolo controle; FAV: bolo com farelo de aveia; FAR: bolo com farelo de arroz; FTR: bolo com farelo de trigo; FPS: bolo com psyllium.

As amostras FCO, FTR e FPS foram consideradas as mais macias e não diferiram entre si ($p < 0,05$) pelo teste Q de Cochran, seguidas pelas amostras FAR e FAV. Correlacionando aos resultados de aceitação, observa-se que, para o atributo textura, FAR e FAV apresentaram as menores médias, o que pode se justificar pela menor maciez detectada pelos avaliadores no teste CATA. Já para o termo úmido, as amostras FCO e FPS foram as mais associadas não diferindo entre si ($p < 0,05$), seguidas pela amostra FTR, que diferiu de FAV e FAR ($p > 0,05$), mas não diferiu de FPS ($p < 0,05$).

As amostras FCO e FAV foram consideradas mais doces, porém FAV não diferiu significativamente de FTR e FPS ($p < 0,05$). No estudo de Di Cairano et al. (2022), o termo doce foi o único com impacto significativo para um aumento na pontuação de aceitação em todos os grupos de consumidores para amostras de biscoitos sem glúten produzidos com farinhas de trigo sarraceno, sorgo e lentilhas.

As amostras FAR e FAV foram as mais associadas aos termos esfarelado e arenoso. Porém, para o termo arenoso ($p < 0,05$) não diferiram da amostra FTR. Sendo assim, percebe-

se, de um modo geral, que as formulações FCO e FPS foram aquelas mais associadas aos termos positivos e menos associadas aos termos negativos, enquanto as formulações adicionadas dos farelos, principalmente FAV e FAR, foram mais associadas aos termos esfarelado e arenoso. Isso corrobora os resultados dos testes afetivos, em que as formulações FCO e FPS apresentaram as maiores médias de aceitação para todos os atributos, com exceção da cor em que apenas a controle diferiu das demais.

Como mencionado nos resultados de textura instrumental, todos os bolos foram considerados macios, entretanto, os bolos adicionados de farelo de arroz e psyllium eram mais firmes do que a amostra controle. Na avaliação sensorial também foi constatada menor maciez na amostra com farelo de arroz, contudo, não houve diferença entre a formulação controle e a com psyllium, indicando que este ingrediente não interferiu na percepção sensorial de maciez dos bolos. O psyllium possui elevada capacidade de absorção de água e de geleificação e, assim, promove uma modificação da textura quando adicionado a alimentos estabilizando emulsões e aumentando a viscosidade (FRADINHO; NUNES; RAYMUNDO, 2015; FRANCO *et al.*, 2020). Dessa forma, sua adição pode reduzir a perda de umidade e retardar o endurecimento do produto promovendo textura mais macia (BELORIO; GÓMEZ, 2021).

Os termos esfarelado e arenoso também se relacionam com o atributo textura. Na análise de textura instrumental foi possível verificar que a adição dos farelos promoveu menor coesividade e resiliência às amostras e, conseqüentemente, isso foi percebido sensorialmente com a característica de esfarelamento do produto. A arenosidade pode estar relacionada à adição das fibras em si, visto que a adição dos farelos foi proporcionalmente maior do que a adição da fonte de fibra psyllium. O tamanho da partícula das fibras também pode influenciar a qualidade dos bolos, sendo que geralmente quanto maior o tamanho das partículas de farelo, menor é a aceitação do produto. Dessa forma, a adição de fibras com tamanho de partículas pequenas pode melhorar as características de textura dos produtos e pode ser objeto de estudo para próximas pesquisas (CHENG *et al.*, 2021; ONIPE; RAMASHIA; JIDEANI, 2021).

5.5 Conclusão

Diante do exposto, concluiu-se que é possível desenvolver bolos integrais contendo farinha extrudada de milho e adicionados de farelo de trigo, farelo de aveia, farelo de arroz ou psyllium e obter características nutricionais, físico-químicas e sensoriais satisfatórias. Todas as amostras foram consideradas fontes de fibras e apresentaram-se macias. A adição de fibras não alterou algumas características, como volume específico e cor da crosta dos bolos,

promoveu algumas melhorias, como menor teor de umidade e maior teor de cinzas e proteínas, e impactou a textura, com menor coesividade e resiliência para as amostras com farelos.

As formulações controle e adicionada de psyllium foram as mais aceitas sensorialmente com as maiores médias de aceitação para todos os atributos, com exceção da cor, e foram aquelas mais associadas aos termos de impacto positivo (macio, úmido e doce) e menos associadas aos termos negativos (esfarelado e arenoso). Entretanto, todos os bolos integrais desenvolvidos apresentaram aceitabilidade com notas altas de aceitação (entre 6 e 8) e intenção de compra (entre 3 e 4). Logo, os bolos integrais de milho produzidos podem ter potencial para inserção no mercado consumidor, além de abrirem possibilidade para pesquisas no desenvolvimento de outros produtos destinados à alimentação humana com a utilização do milho e com o uso das fontes de fibras estudadas como ingredientes.

5.6 Referências

AACC. AACC International Method 10-05.01. Guidelines for measurement of volume by rapeseed displacement. *In: Approved Methods of the American Association of Cereal Chemist*. AACC International, 2010a.

AACC. AACC International Method 74-09.01. Measurement of Bread Firmness by Universal Testing Machine. *In: Approved Methods of the American Association of Cereal Chemist*. AACC International, 2010b.

ABDULLAH, M. M.; ALDUGHPASSI, A. D. H.; SIDHU, J. S.; AL-FOUDARI, M. Y.; AL-OTHMAN, A. R. A. Effect of psyllium husk addition on the instrumental texture and consumer acceptability of high-fiber wheat pan bread and buns. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 66, n. 1, p. 75–80, 2021.

ABDULLAH, M.; TUFAIL, T.; HUSSAIN, M.; NADEEM, M.; OWAIS, M.; ZULKIFFAL, M.; HAMMAD TANVEER, M.; AL JBAWI, E. Effect of sprouted barley flour on the quality wheat of bread, biscuits and cakes. **Cogent Food and Agriculture**, v. 8, p. 2122272, 2022.

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**, v. 232, p. 210–217, 2017.

AKTER, M.; ANJUM, N.; ROY, F.; YASMIN, S.; SOHANY, M.; MAHOMUD, M. S. Effect of drying methods on physicochemical, antioxidant and functional properties of potato peel flour and quality evaluation of potato peel composite cake. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 11, p. 100508, 2023.

ALCANTARA, M. de; FREITAS-SÁ, D. de G. C. Metodologias sensoriais descritivas mais rápidas e versáteis – uma atualidade na ciência sensorial. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, p. e2016179, 2018.

AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International**. 18. ed. Washington: AOAC International, 2005.

ARES, G.; JAEGER, S. R. Check-all-that-apply (CATA) questions with consumers in practice: Experimental considerations and impact on outcome. *Em*: DELARUE, J.; LAWLOR, J. BEN; ROGEAUX, M. **Rapid Sensory Profiling Techniques and Related Methods: Applications in New Product Development and Consumer Research**. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 2015. p. 227–245.

ARES, G.; VARELA, P. Trained vs. consumer panels for analytical testing: Fueling a long lasting debate in the field. **Food Quality and Preference**, v. 61, p. 79–86, 2017.

ÁVILA, B. P.; BRAGANCA, G. C. M.; ROCKENBACH, R.; ALVES, G. D.; MONKS, J.; GULARTE, M. A.; ELIAS, M. C. Physical and sensory characteristics of cake prepared with six whole-grain flours. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, n. 3, p. 1486–1492, 2017.

BANGAR, S. P.; NEHRA, M.; SIROHA, A. K.; PETRU, M.; ILYAS, R. A.; DEVI, U.; DEVI, P. Development and characterization of physical modified pearl millet starch-based films. **Foods**, v. 10, n. 7, p. 1609, 2021.

BAUMGARTNER, B.; ÖZKAYA, B.; SAKA, I.; ÖZKAYA, H. Functional and physical properties of cookies enriched with dephytinized oat bran. **Journal of Cereal Science**, v. 80, p. 24–30, 2018.

BELORIO, M.; GÓMEZ, M. Psyllium: a useful functional ingredient in food systems. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 2, p. 527–538, 2021.

BELORIO, M.; SAHAGÚN, M.; GÓMEZ, M. Psyllium as a Fat Replacer in Layer Cakes: Batter Characteristics and Cake Quality. **Food and Bioprocess Technology**, v. 12, n. 12, p. 2085–2092, 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Instrução Normativa n°75, de 08 de outubro de 2020. Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. 9 out. 2020a. Seção 1, p. 113.

BRASIL. Ministério da Saúde. RDC n° 429, de 08 de outubro de 2020. Dispõe sobre a rotulagem nutricional dos alimentos embalados. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. 9 out. 2020b. Seção 1, p. 106.

BRASIL. Ministério da Saúde. RDC n° 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. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. 6 jul. 2022a. Seção 1, p. 183

BRASIL. Ministério da Saúde. Instrução Normativa n° 161, de 01 de julho de 2022. Estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. 6 jul. 2022b. Seção 1, p. 235.

CAYRES, C. A.; ASCHERI, J. L. R.; COUTO, M. A. P. G.; ALMEIDA, E. L. Impact of pregelatinized composite flour on nutritional and functional properties of gluten-free cereal-

based cake premixes. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 15, n. 1, p. 769–781, 2021.

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

CHENG, W.; SUN, Y.; FAN, M.; LI, Y.; WANG, L.; QIAN, H. Wheat bran, as the resource of dietary fiber: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 26, p. 7269–7281, 2021.

DHINGRA, D.; MICHAEL, M.; RAJPUT, H.; PATIL, R. T. Dietary fibre in foods: A review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 49, n. 3, p. 255–266, 2012.

DI CAIRANO, M.; CONDELLI, N.; GALGANO, F.; CARUSO, M. C. Experimental gluten-free biscuits with underexploited flours versus commercial products: Preference pattern and sensory characterisation by Check All That Apply Questionnaire. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 4, p. 1936–1944, 2022.

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**, v. 109, p. 175–186, 2018.

DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

DREWNOWSKI, A.; MCKEOWN, N.; KISSOCK, K.; BECK, E.; MEJBORN, H.; VIEUX, F.; SMITH, J.; MASSET, G.; SEAL, C. J. Perspective: Why Whole Grains Should Be Incorporated into Nutrient-Profile Models to Better Capture Nutrient Density. **Advances in Nutrition**, v. 12, n. 3, p. 600–608, 2021.

DUTCOSKY, S. D. **Análise Sensorial de Alimentos**. 3. ed. Curitiba: Champagnat, 2011.

FARZANA, T.; FATEMA, J.; HOSSAIN, F. B.; AFRIN, S.; RAHMAN, S. S. Quality improvement of cakes with buckwheat flour, and its comparison with local branded cakes. **Current Research in Nutrition and Food Science**, v. 9, n. 2, p. 570–577, 2021.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. **International Year of Millets 2023 - Building momentum for the year**. Disponível em: <[https://media.un.org/en/asset/k1h/k1h0tqi7qq#:~:text=The%20International%20Year%20will%20\(i,to%20achieve%20the%20other%20two](https://media.un.org/en/asset/k1h/k1h0tqi7qq#:~:text=The%20International%20Year%20will%20(i,to%20achieve%20the%20other%20two)>. Acesso em: 17 abr. 2023.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. **Bacteriological Analytical Manual - BAM**. 8. ed. [s.l: s.n.]

FORSYTHE, S. J. **Microbiologia da Segurança dos Alimentos**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

- FRADINHO, P.; NUNES, M. C.; RAYMUNDO, A. Developing consumer acceptable biscuits enriched with Psyllium fibre. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 8, p. 4830–4840, 2015.
- FRANCO, E. A. N.; SANCHES-SILVA, A.; RIBEIRO-SANTOS, R.; DE MELO, N. R. Psyllium (*Plantago ovata* Forsk): From evidence of health benefits to its food application. **Trends in Food Science and Technology**, v. 96, p. 166–175, 2020.
- FRATELLI, C.; SANTOS, F. G.; MUNIZ, D. G.; HABU, S.; BRAGA, A. R. C.; CAPRILES, V. D. Psyllium Improves the Quality and Shelf Life of Gluten-Free Bread. **Foods**, v. 10, n. 5, p. 954, 2021.
- GALLEGO, C.; BELORIO, M.; GUERRA-OLIVEIRA, P.; GÓMEZ, M. Effects of adding chickpea and chestnut flours to layer cakes. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 8, p. 4840–4846, 2022.
- GENTSCHEVA, G.; MILKOVA-TOMOVA, I.; BUHALOVA, D.; PEHLIVANOV, I.; STEFANOV, S.; NIKOLOVA, K.; ANDONOVA, V.; PANOVA, N.; GAVRAILOV, G.; DIKOVA, T.; GORANOVA, Z. Incorporation of the Dry Blossom Flour of *Sambucus nigra* L. in the Production of Sponge Cakes. **Molecules**, v. 27, n. 3, 2022.
- GIAROLA, R. C.; NABESHIMA, E. H.; MICHELAZZO CAMPOPIANO, J.; FERRARI, R. A.; MARTINS MONTENEGRO, F.; SADAHIRA, M. S. Effect of sunflower protein meal and electrostatic complexes of sunflower meal-pectin on the cake crumb structure and color. **Journal of Food Science and Technology**, v. 59, n. 4, p. 1419–1428, 2022.
- GÓMEZ, M.; MORALEJA, A.; OLIETE, B.; RUIZ, E.; CABALLERO, P. A. Effect of fibre size on the quality of fibre-enriched layer cakes. **LWT**, v. 43, n. 1, p. 33–38, 2010.
- GUL, K.; YOUSUF, B.; SINGH, A. K.; SINGH, P.; WANI, A. A. Rice bran: Nutritional values and its emerging potential for development of functional food - A review. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v. 6, n. 1, p. 24–30, 2015.
- GULARTE, M. A. **Manual de análise sensorial de alimentos**. Pelotas: Editora da Universidade Federal de Pelotas, 2009.
- GULARTE, M. A.; DE LA HERA, E.; GÓMEZ, M.; ROSELL, C. M. Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties. **LWT**, v. 48, n. 2, p. 209–214, 2012.
- HEDAYATI, S.; JAFARI, S. M.; BABAJAFARI, S.; NIAKOUSARI, M.; MAZLOOMI, S. M. Different food hydrocolloids and biopolymers as egg replacers: A review of their influences on the batter and cake quality. **Food Hydrocolloids**, v. 128, p. 107611, 2022.
- HU, Y. C.; HU, J. L.; LI, J.; WANG, J.; ZHANG, X. Y.; WU, X. Y.; LI, X.; GUO, Z. Bin; ZOU, L.; WU, D. T. Physicochemical characteristics and biological activities of soluble dietary fibers isolated from the leaves of different quinoa cultivars. **Food Research International**, v. 163, p. 112166, 2023.
- INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS - ITAL. **Brasil Food Trends 2020**. São Paulo: ITAL, 2010.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS - ITAL. **Brasil bakery e confectionery trends 2020**. 1. ed. Campinas: ITAL, 2014.

JEDDOU, K. Ben; BOUAZIZ, F.; ZOUARI-ELLOUZI, S.; CHAARI, F.; ELLOUZ-CHAABOUNI, S.; ELLOUZ-GHORBEL, R.; NOURI-ELLOUZ, O. Improvement of texture and sensory properties of cakes by addition of potato peel powder with high level of dietary fiber and protein. **Food Chemistry**, v. 217, p. 668–677, 2017.

JIA, J.; XIONG, D.; BAI, J.; YUAN, Y.; SONG, Q.; LAN, T.; TIAN, L.; GUO, C.; LIU, X.; WANG, C.; DUAN, X. Investigation on flavor and physicochemical properties of angel food cakes prepared by lactic acid fermented egg white. **LWT**, v. 164, p. 113659, 2022.

KIUMARSI, M.; SHAHBAZI, M.; YEGANEHZAD, S.; MAJCHRZAK, D.; LIELEG, O.; WINKELJANN, B. Relation between structural, mechanical and sensory properties of gluten-free bread as affected by modified dietary fibers. **Food Chemistry**, v. 277, p. 664–673, 2019.

KÖTEN, M. Influence of raw/roasted terebinth (*Pistacia Terebinthus* L.) on the selected quality characteristics of sponge cakes. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 24, p. 100342, 2021.

KUMAR, R. R.; SINGH, N.; SINGH, S.; VINUTHA, T.; KRISHNAN, V.; GOSWAMI, S.; KUMAR, B.; JAT, S. L.; YOGESH, L. N.; SINGH, S. P.; MISHRA, G. P.; TARA SATYAVATHI, C.; SACHDEV, A.; PRAVEEN, S. Nutritional supremacy of pearl- and foxtail millets: assessing the nutrient density, protein stability and shelf-life of flours in millets and cereals for developing nutri-stable foods. **Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology**, v. 31, n. 4, p. 837–852, 2022.

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**, v. 2, n. 1, 2022.

LEVENT, H.; SAYASLAN, A.; YEŞİL, S. Enrichment of Gluten-free Cakes with Grape Molasses and Bioactive Rich Ingredients. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 64, p. e21200027, 2021.

LIU, X.; YANG, W.; PETRICK, J. L.; LIAO, L. M.; WANG, W.; HE, N.; CAMPBELL, P. T.; ZHANG, Z. F.; GIOVANNUCCI, E.; MCGLYNN, K. A.; ZHANG, X. Higher intake of whole grains and dietary fiber are associated with lower risk of liver cancer and chronic liver disease mortality. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, p. 6388, 2021.

LUMIVERO. **XLSTAT statistical and data analysis solution** New York. 2023. Disponível em: <<https://www.xlstat.com/en>>. Acesso em: 16 mar. 2023.

MA, S.; WANG, Z.; LIU, H.; LI, L.; ZHENG, X.; TIAN, X.; SUN, B.; WANG, X. Supplementation of wheat flour products with wheat bran dietary fiber: Purpose, mechanisms, and challenges. **Trends in Food Science and Technology**, v. 123, p. 281–289, 2022.

MARBOH, V.; MAHANTA, C. L. Substituting wheat flour with sohphlang (*Flemingia vestita*) flour: Impact on rheological, physicochemical, antioxidant and antifungal properties of cakes. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 28, p. 100546, 2022.

- MAWOUMA, S.; CONDURACHE, N. N.; TURTURICĂ, M.; CONSTANTIN, O. E.; CROITORU, C.; RAPEANU, G. Chemical Composition and Antioxidant Profile of Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) and Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.) Grains Cultivated in the Far-North Region of Cameroon. **Foods**, v. 11, n. 14, 2022.
- MENDES, G. da R. L.; RODRIGUES, P. S.; SALAS-MELLADO, M. de las M.; BURKERT, J. F. D. M.; BADIALE-FURLONG, E. Defatted Rice Bran as a Potential Raw Material to Improve the Nutritional and Functional Quality of Cakes. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 76, p. 46–52, 2021.
- NAKOV, G.; BRANDOLINI, A.; HIDALGO, A.; IVANOVA, N.; STAMATOVSKA, V.; DIMOV, I. Effect of grape pomace powder addition on chemical, nutritional and technological properties of cakes. **LWT**, v. 134, p. 109950, 2020.
- NEHRA, M.; SIROHA, A. K.; PUNIA, S.; KUMAR, S. Process standardization for bread preparation using composite blend of wheat and pearl millet: Nutritional, antioxidant and sensory approach. **Current Research in Nutrition and Food Science**, v. 9, n. 2, p. 511–520, 2021.
- NESPECA, L. de S.; DA SILVA PAULINO, H. F.; BARLATI VIEIRA DA SILVA, T.; BONA, E.; LEIMANN, F. V.; MARQUES, L. L. M.; CARDOSO, F. A. R.; DROVAL, A. A.; FUCHS, R. H. B. How does the replacement of rice flour with flours of higher nutritional quality impact the texture and sensory profile and acceptance of gluten-free chocolate cakes? **International Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 4, p. 2019–2029, 2021.
- NGUYEN, S. N.; VIEN, M. D.; LE, T. T. T.; TRAN, T. T. T.; TON, N. M. N.; LE, V. V. M. Effects of enzymatic treatment conditions on dietary fibre content of wheat bran and use of cellulase-treated bran in cookie. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 8, p. 4017–4025, 2021.
- OLIVEIRA, D. P. L.; SOARES JÚNIOR, M. S.; BENTO, J. A. C.; DOS SANTOS, I. G.; FERREIRA, T. A. P. de C. Influence of extrusion conditions on the physical and nutritional properties of snacks from maize and pearl millet. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. 3, p. 15215, 2021.
- ONIPE, O. O.; RAMASHIA, S. E.; JIDEANI, A. I. O. Wheat bran modifications for enhanced nutrition and functionality in selected food products. **Molecules**, v. 26, n. 13, p. 3918, 2021.
- OZBEKOVA, Z.; KULMYRZAEV, A. Study of moisture content and water activity of rice using fluorescence spectroscopy and multivariate analysis. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 223, p. 117357, 2019.
- PAESANI, C.; BRAVO-NÚÑEZ, Á.; GÓMEZ, M. Effect of stabilized wholegrain maize flours on the quality characteristics of gluten-free layer cakes. **LWT**, v. 135, p. 109959, 2021.
- PASQUALONE, A.; COSTANTINI, M.; LABARBUTA, R.; SUMMO, C. Production of extruded-cooked lentil flours at industrial level: Effect of processing conditions on starch gelatinization, dough rheological properties and techno-functional parameters. **LWT**, v. 147, p. 111580, 2021.

PESSANHA, K. L. F.; MENEZES, J. P. de; SILVA, A. dos A.; FERREIRA, M. V. da S.; TAKEITI, C. Y.; CARVALHO, C. W. P. Impact of whole millet extruded flour on the physicochemical properties and antihyperglycemic activity of gluten free bread. **LWT - Food Science and Technology**, v. 147, p. 111495, 2021.

PRASADI, N.; JOYE, I. J. Dietary fibre from whole grains and their benefits on metabolic health. **Nutrients**, v. 12, n. 10, p. 3045, 2020.

PUCHOL-MIQUEL, M.; PALOMARES, C.; FERNÁNDEZ-SEGOVIA, I.; BARAT, J. M.; PEREZ-ESTEVE, É. Effect of the type and degree of alkalization of cocoa powder on the physico-chemical and sensory properties of sponge cakes. **LWT**, v. 152, p. 112241, 1 dez. 2021.

RENZETTI, S.; THEUNISSEN, M.; HORREVORTS, K. A Systematic Comparison of the Intrinsic Properties of Wheat and Oat Bran Fractions and Their Effects on Dough and Bread Properties: Elucidation of Chemical Mechanisms, Water Binding, and Steric Hindrance. **Foods**, v. 10, n. 10, p. 2311, 2021.

RIOS, M. B.; IRIONDO-DEHOND, A.; IRIONDO-DEHOND, M.; HERRERA, T.; VELASCO, D.; GÓMEZ-ALONSO, S.; CALLEJO, M. J.; DEL CASTILLO, M. D. Effect of coffee cascara dietary fiber on the physicochemical, nutritional and sensory properties of a gluten-free bread formulation. **Molecules**, v. 25, n. 6, p. 1358, 2020.

ROMÁN, L.; REGUILÓN, M. P.; GÓMEZ, M. Physicochemical characteristics of sauce model systems: Influence of particle size and extruded flour source. **Journal of Food Engineering**, v. 219, p. 93–100, 2018.

SANDERS, L. M.; ZHU, Y.; WILCOX, M. L.; KOECHER, K.; MAKI, K. C. Effects of Whole Grain Intake, Compared with Refined Grain, on Appetite and Energy Intake: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Advances in Nutrition**, v. 12, n. 4, p. 1177–1195, 2021.

SEAL, C. J.; COURTIN, C. M.; VENEMA, K.; DE VRIES, J. Health benefits of whole grain: effects on dietary carbohydrate quality, the gut microbiome, and consequences of processing. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 20, n. 3, p. 2742–2768, 2021.

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**, 2022.

SHARMA, S. K.; BANSAL, S.; MANGAL, M.; DIXIT, A. K.; GUPTA, R. K.; MANGAL, A. K. Utilization of food processing by-products as dietary, functional, and novel fiber: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 56, n. 10, p. 1647–1661, 2016.

SILVA, N. A. B.; SILVA, J. C.; SILVA, S. L. dos R.; GONÇALVES, A. C. A.; SILVA, W. A. da; PIRES, C. V.; TROMBETE, F. M. Desenvolvimento e avaliação sensorial de massa de pizza sem glúten, fonte de fibras e adicionada de psyllium. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 11, p. 1–8, 2019.

TAN, B.; WU, N. N.; ZHAI, X. T. Solutions for whole grain food development. **Nutrition Reviews**, v. 78, p. 61–68, 2021.

TAPIA, M. S.; ALZAMORA, S. M.; CHIRIFE, J. Effects of Water Activity (aw) on Microbial Stability: As a Hurdle in Food Preservation. *In: Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*. 2. ed. [s.l: s.n.]. p. 323–355.

TAYLOR, J. R. N. Millet Pearl: Overview. *Em: WRIGLEY, C.; CORKE, H.; SEETHARAMAN, K.; FAUBION, J. Encyclopedia of Food Grains: Second Edition*. [s.l.] Elsevier Inc., 2016. p. 190–198.

TBCA. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA). Universidade de São Paulo (USP). Food Research Center (FoRC). Versão 7.2.** . Disponível em: <<http://www.fcf.usp.br/tbca>>. Acesso em: 11 mar. 2023.

TOPKAYA, C.; ISIK, F. Effects of pomegranate peel supplementation on chemical, physical, and nutritional properties of muffin cakes. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, n. 6, p. e13868, 2019.

USDA. **FoodData Central**. Disponível em: <FoodData Central>. Acesso em: 15 jan. 2023.

VERA ZAMBRANO, M.; DUTTA, B.; MERCER, D. G.; MACLEAN, H. L.; TOUCHIE, M. F. Assessment of moisture content measurement methods of dried food products in small-scale operations in developing countries: A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 88, p. 484–496, 2019.

XU, J.; ZHANG, Y.; WANG, W.; LI, Y. Advanced properties of gluten-free cookies, cakes, and crackers: A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 103, p. 200–213, 2020.

YADAV, G. P.; DALBHAGAT, C. G.; MISHRA, H. N. Effects of extrusion process parameters on cooking characteristics and physicochemical, textural, thermal, pasting, microstructure, and nutritional properties of millet-based extruded products: A review. **Journal of Food Process Engineering**, v. 45, n. 9, p. e14106, 2022.

YEŞILKANAT, N.; SAVLAK, N. Utilization of persimmon powder in gluten-free cakes and determination of their physical, chemical, functional and sensory properties. **Food Science and Technology (Brazil)**, v. 41, p. 637–645, 2021.

YI, C.; QIANG, N.; ZHU, H.; XIAO, Q.; LI, Z. Extrusion processing: A strategy for improving the functional components, physicochemical properties, and health benefits of whole grains. **Food Research International**, v. 160, p. 111681, 2022.

ZHANG, K.; SUN, J.; FAN, M.; QIAN, H.; YING, H.; LI, Y.; WANG, L. Functional ingredients present in whole-grain foods as therapeutic tools to counteract obesity: Effects on brown and white adipose tissues. **Trends in Food Science and Technology**, v. 109, p. 513–526, 2021.

ZHAO, G.; ZHANG, R.; DONG, L.; HUANG, F.; TANG, X.; WEI, Z.; ZHANG, M. Particle size of insoluble dietary fiber from rice bran affects its phenolic profile, bioaccessibility and functional properties. **LWT**, v. 87, p. 450–456, 2018.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme a revisão bibliográfica e os resultados apresentados nos capítulos desta dissertação, percebeu-se que o uso de milho em produtos de panificação é uma estratégia potencial para atender às demandas de mercado atuais (produtos saudáveis, com grãos integrais, fontes de fibras) e agregar valor à essa cultura subutilizada. No Brasil, a nova legislação de produtos integrais insere o milho como um ingrediente integral e isso abriu oportunidades para o desenvolvimento de novos produtos utilizando o milho como base principal. Entretanto, os estudos com milho como matéria-prima alimentar ainda são escassos no Brasil quando comparados aos com cereais tradicionais e, assim, mais pesquisas devem ser realizadas com foco no desenvolvimento de novos produtos à base de milho e estudos com consumidores.

A extrusão aumentou significativamente a capacidade de absorção de água da farinha integral, o que pode ser vantajoso para o desenvolvimento de alimentos que precisam de maior viscosidade, podendo ter a função como espessante. As farinhas extrudadas apresentaram também menor tendência à retrogradação, característica que pode ser útil para o desenvolvimento de produtos de panificação.

Foi possível desenvolver bolos integrais contendo farinha extrudada de milho e adicionados de farelo de trigo, farelo de aveia, farelo de arroz ou psyllium e obter características nutricionais, físico-químicas e sensoriais satisfatórias. Todas as amostras foram consideradas fontes de fibras, apresentaram-se macias e demonstraram aceitabilidade com notas altas de aceitação e intenção de compra. Assim, os bolos integrais produzidos podem ter potencial para inserção no mercado consumidor apresentando características tecnológicas adequadas para a comercialização.

A demanda pelo uso de farinhas integrais de milho tende a aumentar e a indústria brasileira ainda não consegue ofertar tais matérias-primas em quantidade para o mercado, surgindo então oportunidade para as indústrias moageiras. O consumo de produtos com milho deve ser estimulado fortalecendo assim a soberania alimentar e reduzindo a necessidade de importação de matérias-primas básicas, principalmente o trigo, já que o Brasil é um grande importador desta matéria-prima.

Sugere-se para trabalhos futuros a definição do prazo de vida útil dos bolos durante o armazenamento sob temperatura ambiente; a avaliação dos impactos da decorticação e da extrusão na composição nutricional, compostos bioativos, atividade antioxidante, estabilidade à oxidação e estabilidade microbiológica; desenvolvimento de outros produtos, não somente de

panificação, com a aplicação da farinha de milho extrudada e com as fontes de fibras utilizadas; avaliação do milho ou de suas frações como potencial prebiótico.

APÊNDICES

APÊNDICE A: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido dos Provedores para Análise Sensorial de Bolos Integrais de Milheto

Você está convidado a participar de um teste sensorial de bolos integrais de milheto. Este teste é parte integrante do projeto de pesquisa da aluna Isabella Maciel Costa do Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos (PPGCA). Podem participar pessoas que apreciem este produto e que não apresentam nenhuma restrição à ingestão de ingredientes de sua composição, a saber: ovos, açúcar cristal, óleo de soja, farinha de trigo integral, farinha de milheto, farelo de trigo, farelo de aveia, farelo de arroz, psyllium, bagaço de malte, leite integral, sorbitol, maltitol, fermento químico em pó, aroma artificial de baunilha, emulsificante [monoglicerídeos de ácidos graxos destilados (INS 471), sal de ácidos graxos (INS 470), monoestearato de sorbitana (INS 491) e polioxietileno de monoestearatos de sorbitana (INS 435)] e conservador propionato de cálcio. Os riscos para os participantes desta pesquisa envolvem a alergia a qualquer um dos ingredientes presentes nas formulações; a intolerância à lactose ou alergia às proteínas presentes no leite integral; a doença celíaca que impossibilita o consumo de glúten presente na farinha de trigo, farelo de trigo e farelo de aveia; o diabetes que restringe o consumo de produtos contendo açúcar.

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver e identificar as características sensoriais de bolos integrais elaborados com farinha extrudada de milheto e diferentes fontes de fibra. Como objetivos específicos, destaca-se a identificação das características sensoriais descritivas para um produto elaborado com milheto e a identificação a formulação que conferiu as melhores características sensoriais. A pesquisa será realizada no Laboratório de Análise Sensorial e Estudos com Consumidor (LASEC) da Faculdade de Farmácia (FAFAR) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Você será solicitado a responder um questionário com perguntas socioeconômicas e de hábitos de consumo, o que demandará aproximadamente 5 minutos. Também será solicitado que você avalie seis amostras de bolos integrais de milheto preenchendo as fichas de avaliação e expressando sua opinião em relação a atributos como cor, aroma, sabor, textura e impressão global utilizando notas que variam de “1 – desgostei extremamente” a “9 – gostei extremamente” e em relação à intenção de compra usando notas que variam de “1 – certamente não compraria” a “5 – certamente compraria”. Tais amostras serão fornecidas em pratos descartáveis, identificadas com números de três dígitos e apresentadas em pedaços de aproximadamente 15 g. Ainda, serão apresentadas de forma monádica (uma de cada vez), sequencial (uma após a outra) e aleatória, em cabines individuais. Essa etapa da pesquisa demandará aproximadamente 20 minutos.

Você poderá não gostar dos produtos (sabor, textura, aroma) e/ou sentir-se constrangido em preencher o questionário. Você poderá desistir de participar a qualquer momento, sem que isso lhe traga qualquer prejuízo ou penalização, sem necessidade de justificativa. Esta pesquisa pode oferecer o risco de desconforto ou constrangimento do participante ao responder os questionários; e, para minimizar este risco, todos os questionários serão preenchidos em cabines individuais.

Os termos de consentimento livre e esclarecido dos provedores, os questionários de coleta de dados e as fichas de avaliação das análises sensoriais contendo os dados coletados durante o estudo, serão armazenados em arquivo lacrado, no LASEC, com acesso permitido apenas aos pesquisadores envolvidos, pelo período mínimo de cinco anos, de acordo com a legislação.

Em caso de eventuais danos decorrentes da pesquisa, você poderá buscar indenização de acordo com os termos da Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012.

Esta pesquisa não apresenta nenhum benefício individual direto aos provadores. Os dados fornecidos são considerados confidenciais, sendo totalmente garantidos o sigilo das informações e sua privacidade.

A SUA PARTICIPAÇÃO NO PROJETO TEM CARÁTER VOLUNTÁRIO E NÃO LHE TRARÁ NENHUM TIPO DE ÔNUS OU REMUNERAÇÃO.

Em caso de dúvidas para maiores esclarecimentos da pesquisa, favor entrar em contato com a pesquisadora Dra. Camila Argenta Fante por e-mail camilafante@ufmg.br.

Desde já agradecemos sua colaboração.

Assinatura dos responsáveis:

Profa. Dra. Camila Argenta Fante - Fone: (31) 3409-6922
camilafante@farmacia.ufmg.br
 Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901

Isabella Maciel Costa - Fone: (31) 9 9793-0551
isabellamaciell@ufmg.br
 Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901

Você poderá obter qualquer informação deste estudo com os pesquisadores ou se tiver dúvidas sobre questões éticas, pode consultar o Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG (COEP/UFMG): Avenida Antônio Carlos, 6627 Unidade Administrativa II 2º andar sala 2005 Campus Pampulha 31270-901 Belo Horizonte MG Brasil Telefax: (31) 3499-4592 E-mail: coep@prpq.ufmg.br

Compreendi e concordo com as informações que me foram transmitidas e, portanto, aceito participar como voluntário neste projeto de pesquisa.

Este documento deve ser assinado em duas vias.

Belo Horizonte, ____ de ____ de ____

Nome: _____

Assinatura: _____

Telefone(s) de contato: _____

E-mail: _____

APÊNDICE B: Questionário de Coleta de Dados para Análise Sensorial de Bolos Integrais de Milheto

Caso tenha concordado em participar deste projeto, por favor, complete o questionário com todas as informações solicitadas, as quais serão mantidas confidenciais. Agradecemos sua colaboração!

Nome: _____

Gênero: ☐ Masculino ☐ Feminino ☐ Não binário

Idade: ☐ 17-25 ☐ 26-35 ☐ 36-45 ☐ 46-55 ☐ 56-65 ☐ >65

Escolaridade:

- | | |
|--|--|
| ☐ Ensino fundamental incompleto | ☐ Ensino fundamental completo |
| ☐ Ensino médio incompleto | ☐ Ensino médio completo |
| ☐ Superior incompleto | ☐ Superior completo |
| ☐ Pós-graduação: Especialização | ☐ Pós-graduação: Mestrado/Doutorado |

Profissão: _____

Renda familiar mensal (valor do salário mínimo: R\$ 1.212):

- ☐ 1 a 5 salários mínimos ☐ 6 a 10 salários mínimos ☐ 11 a 20 salários mínimos
☐ 21 a 30 salários mínimos ☐ > 30 salários mínimos

Você está fazendo uso de algum medicamento?

☐ Sim ☐ Não Qual(is)? _____

Você está seguindo alguma dieta especial?

☐ Não ☐ Sim Qual(is)? _____

Você tem alguma restrição de saúde que impossibilite ou torne não recomendado o consumo de produtos contendo algum destes ingredientes: ovos, açúcar cristal, óleo de soja, farinha de trigo integral, farinha de milho, farelo de trigo, farelo de aveia, farelo de arroz, psyllium, bagaço de malte, leite integral, sorbitol, maltitol, fermento químico em pó, aroma artificial de baunilha, emulsificante [monoglicerídeos de ácidos graxos destilados (INS 471), sal de ácidos graxos (INS 470), monoestearato de sorbitana (INS 491) e polioxietileno de monoestearatos de sorbitana (INS 435)] e conservador propionato de cálcio?

☐ Não ☐ Sim Qual(is)? _____

Você gosta de bolos?

☐ Não ☐ Sim

Você gosta de bolos integrais?

☐ Não ☐ Sim

Você gosta de produtos fontes de fibras?

☐ Não ☐ Sim

Com que frequência você consome bolos?

☐ Nunca ☐ 1 x a 3x por mês ☐ 1x a 4x por semana ☐ Diariamente

Com que frequência você consome bolos integrais?

☐ Nunca ☐ 1 x a 3x por mês ☐ 1x a 4x por semana ☐ Diariamente

Caso consuma, por qual motivo?

- ☐ Praticidade ☐ Saúde ☐ Sabor ☐ Dieta/reeducação alimentar ☐ Regulação do intestino
☐ Tendência (*influencers*) Outro: _____

Com que frequência você consome produtos fontes de fibras?

- ☐ Nunca ☐ 1 x a 3x por mês ☐ 1x a 4x por semana ☐ Diariamente

Caso consuma, por qual motivo?

- ☐ Praticidade ☐ Saúde ☐ Sabor ☐ Dieta/reeducação alimentar ☐ Regulação do intestino
☐ Tendência (*influencers*) Outro: _____

Com que frequência você realiza atividades físicas?

- ☐ Nunca ☐ 1 x a 3x por mês ☐ 1x a 4x por semana ☐ Diariamente

Você já conhecia o milheto antes desta análise?

- ☐ Não ☐ Sim

Você já experimentou algum produto contendo milheto antes desta análise?

- ☐ Não ☐ Sim

Assinale abaixo os momentos em que você prefere consumir bolos. (Pode ser marcada mais de uma opção)

- ☐ Café da manhã ☐ Lanche da manhã ☐ Almoço ☐ Lanche da tarde ☐ Jantar
☐ Lanche da noite ☐ Outro _____

APÊNDICE C: Ficha de Avaliação Sensorial – Testes de aceitação, intenção de compra e CATA

1. Você está recebendo uma amostra de bolo integral de milho. Por favor, avalie a amostra utilizando a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou do produto para cada um dos atributos: cor, aroma, sabor, textura e impressão Global. Registre o número que melhor reflita seu julgamento.

- 9- Gostei extremamente
- 8- Gostei muito
- 7- Gostei moderadamente
- 6- Gostei ligeiramente
- 5- Não gostei nem desgostei
- 4- Desgostei ligeiramente
- 3- Desgostei moderadamente
- 2- Desgostei muito
- 1- Desgostei extremamente

Nº Amostra	Cor	Aroma	Sabor	Textura	Impressão Global

2. Por favor, com relação à amostra, caso estivesse à venda, indique qual seria sua atitude:

- 5- Certamente compraria
- 4- Provavelmente compraria
- 3- Tenho dúvidas se compraria
- 2- Provavelmente não compraria
- 1- Certamente não compraria

Nº Amostra	Intenção de compra

3. Agora, por favor, assinale todas as palavras ou frases que melhor descrevem a amostra:

- | | | | |
|--|---|---------------------------------------|---|
| ☐ Bolo de fubá | ☐ Macio | ☐ Cor uniforme | ☐ Cor caramelo |
| ☐ Arenoso | ☐ Marrom | ☐ Doce | ☐ Aroma de cereais |
| ☐ Esfarelado | ☐ Bege | ☐ Úmido | ☐ Bolo industrializado |
| ☐ Aroma de baunilha | ☐ Aroma de erva doce | ☐ Integral | |

Comentários (opcional):
