

Desenvolvimento de panquecas sem glúten com farinha de bolota

Mariline Neto Borges

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança, para a obtenção do
Grau de Mestre em Produtos Naturais e Bioaplicações*

Orientado por:

Soraia Isabel Domingues Marcos Falcão

Volkan Aylanc

Bragança

2024

Trabalho financiado pelo Projeto ACORNDEW (MTS/SAS/0099/2020), através da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), no âmbito Programa Internacional de Investigação sobre Montesinho “Montesinho International Research Awards”. Este trabalho foi também parcialmente financiado pelo CIMO UID/AGR/00690/2020) e SusTEC (LA/P/0007/2021).



Agradecimentos

Quero expressar um profundo e especial agradecimento a todas as pessoas que, de alguma forma, me apoiaram ao longo desta jornada.

Em primeiro lugar, à minha orientadora, Professora Soraia Falcão, agradeço pela sua orientação, dedicação, constante disponibilidade, amizade e paciência demonstradas ao longo do desenvolvimento deste trabalho. A sua ajuda foi essencial para alcançar este objetivo, e por isso, um muito obrigada. Ao meu coorientador, Volkan Aylanc, deixo também um agradecimento especial pelo apoio constante, pela paciência, pelo esforço e dedicação. Apesar das inúmeras responsabilidades que carrega, nunca deixou de estar disponível para me ajudar, demonstrando uma amizade e preocupação genuínas. Obrigada a ambos os orientadores por me terem acolhido como orientanda e por depositarem em mim a confiança necessária para trabalhar nesta área de forma autónoma.

Ao Professor Miguel Vilas-Boas, quero também expressar a minha gratidão por tudo o que fez por mim ao longo destes anos, sempre com uma palavra de incentivo e um apoio incalculável.

Aos amigos, espalhados por diferentes nacionalidades, um agradecimento do fundo do coração. Não mencionarei nomes, pois são muitos, mas vocês sabem o quanto significam para mim. Em particular, aos amigos que fiz em Bragança, expresse um enorme obrigada. Muitos de vocês foram o meu apoio nos momentos mais difíceis, ajudaram-me a superar desafios, incentivaram-me a prosseguir o mestrado, apresentaram-me ao CIMO e fizeram com que esta experiência na cidade de Bragança, e especialmente no IPB, fosse tão inesquecível, enriquecedora e marcante.

Também quero agradecer aos investigadores do CIMO, que foram uma ajuda preciosa. Cada um contribuiu com um pouco de si para este trabalho, e guardarei para sempre essa generosidade no meu coração.

Por fim, e com toda a emoção, agradeço à minha família, com um destaque especial para os meus pais. Vocês foram a minha maior força, o meu pilar em todos os momentos, sempre fizeram de tudo para alcançar os meus sonhos, e sem o vosso apoio incondicional, não teria alcançado esta etapa tão importante da minha vida.

A todos vocês, o meu mais profundo obrigada!

Índice

1. Introdução.....	13
1.1. <i>Quercus pyrenaica</i> Willd.....	15
1.2. Bolota	17
1.2.1. Caracterização da bolota.....	17
1.2.2. Caracterização química e nutricional da bolota.....	18
1.3. Produtos inovadores a partir da farinha de bolota	19
1.3.1. Farinha de bolota	19
1.3.1.1. Remoção de taninos.....	21
1.3.1.2. Produtos de panificação a partir da bolota.....	22
1.3.1.3. Farinha de arroz	23
1.4. Doença celíaca	23
2. Materiais e métodos	27
2.1. Recolha e preparação das amostras	28
2.1.1. Tratamentos da bolota.....	29
2.2. Preparação das panquecas	29
2.3. Análise da composição química e do valor nutricional.....	31
2.3.1. Teor em cinzas e humidade	32
2.3.2. Determinação dos lípidos	32
2.3.3. Determinação das proteínas.....	32
2.3.4. Determinação das fibras	33
2.3.5. Determinação do amido.....	34
2.3.6. Determinação do teor de hidratos de carbono	34
2.3.7. Determinação do valor energético	34
2.4. Perfil dos ácidos gordos.....	35
2.5. Perfil dos açúcares solúveis.....	36
2.6. Compostos fenólicos	36

2.6.1.	Preparação do extrato hidroetanólico	36
2.6.2.	Determinação dos fenólicos totais.....	37
2.7.	Análise LC/DAD/ESI-MS ⁿ de compostos bioativos.....	37
2.8.	Digestão Gastrointestinal <i>In Vitro</i>	38
2.8.1.	Fase oral.....	39
2.8.2.	Fase gástrica	39
2.8.3.	Fase intestinal	40
2.8.4.	Determinação de açúcares nas amostras digeridas	40
2.8.5.	Determinação de proteínas nas amostras digeridas	40
2.9.	Preparação das panquecas para a cor e textura.....	41
2.9.1.	Cor	41
2.9.2.	Textura	42
2.10.	Análise dos dados	42
3.	Resultados e discussão	44
3.1.	Farinha de bolota	44
3.1.1.	Análises nutricionais	44
3.1.2.	Ácidos gordos.....	47
3.1.3.	Açúcares	49
3.1.4.	Teor de compostos fenólicos totais (TFT).....	51
3.1.5.	Análise LC/DAD/ESI-MS ⁿ	52
3.2.	Resultados das panquecas.....	55
3.2.1.	Análises nutricionais	55
3.2.2.	Perfil de ácidos gordos	59
3.2.3.	Açúcares solúveis	63
3.2.4.	Bioaccessibilidade	66
3.2.4.1.	Açúcares digeridos	66
3.2.4.2.	Proteínas	68

3.2.5. Cor	70
3.2.6. Textura	73
4. Conclusão e perspectivas futuras	78
5. Referencias	80
6. Anexos.....	98

Índice figuras

Figura 1. <i>Quercus pyrenaica</i> : Árvore de porte robusto comum em regiões montanhosas (à esquerda).....	16
Figura 2. Constituição morfológica dos frutos do género <i>Quercus</i> (Pacheco, 2015)....	17
Figura 3. Bolotas inteiras e farinha de bolota: Bolota (à esquerda)	20
Figura 4. Estrutura química do ácido tânico.....	21
Figura 5. Preparação das farinhas de bolota: (i) colheita de bolotas em estado maduro; (ii) processo de obtenção da farinha de bolota sem tratamento; (iii) processo de obtenção da farinha de bolota demolhada; (iv) processo de obtenção da farinha de bolota escaldada; (v) processo de obtenção da farinha de bolota.	28
Figura 6. Preparação das panquecas de bolota em várias percentagens	30
Figura 7. Preparação de panquecas com diferentes formulações de farinha de bolota.	31
Figura 8. Visão geral de um método de digestão <i>in vitro</i> simulado. As atividades enzimáticas estão em unidades por mL da mistura final de digestão em cada fase de digestão correspondente (Minekus et al., 2014).	38
Figura 9. Gráfico das coordenadas de cor CIE L*a*b* (MiMoriarty, n.d.).	41
Figura 10. Conteúdo fenólico total do extrato de bolota.	51
Figura 11. Picos dos compostos fenólicos presentes na farinha sem tratamento.	53
Figura 12. Perfis de açúcares solúveis das panquecas sem glúten em várias percentagens de farinha de bolota.	63
Figura 13. Digestão dos açúcares (Canadian Sugar Institute, n.d.).	66
Figura 14. Perfis de açúcares solúveis das panquecas sem glúten em várias percentagens de farinha de bolota digeridas.....	68
Figura 15. Perfis proteicos das panquecas sem glúten digeridas.	69
Figura 16. Panquecas sem glúten em várias percentagens de farinha de bolota, do lado esquerdo para o direito, de 0% para 100%.	73

Índice tabelas

Tabela 1. Composição nutricional da bolota, incluindo os principais constituintes, respetivos teores e características, conforme descrito na literatura.	18
Tabela 2. Composição das panquecas de farinha de bolota, expressa em gramas.....	31
Tabela 3. Preparação de soluções-mãe de fluidos de digestão simulados: fluido de saliva simulado (SSF), fluido gástrico (SGF) e fluido intestinal (SIF) soluções-mãe. O volume final para cada líquido digestivo é de 500 mL a uma concentração de 1,25 (Minekus et al., 2014).	39
Tabela 4. Valores nutricionais da farinha de bolota (g/100g).	45
Tabela 5. Valores nutricionais das farinhas de bolota torradas, a partir de diferentes estudos (g/100 g).	46
Tabela 6. Valores nutricionais da farinha de trigo (INSA_pt, n.d.)	47
Tabela 7. Perfil de ácidos gordos das farinhas de bolota.	48
Tabela 8. Perfil de açúcar solúvel das farinhas de bolota.	49
Tabela 9. Compostos bioativos em farinhas de bolota.....	54
Tabela 10. Valores nutricionais das panquecas sem glúten em várias percentagens de farinha de bolota (g/100g).	55
Tabela 11. Valores nutricionais da matriz das panquecas sem glúten em várias percentagens de farinha de bolota (g/100g).....	58
Tabela 12. Valores nutricionais de panquecas sem glúten comerciais.....	58
Tabela 13. Perfil de ácidos gordos das panquecas sem glúten.....	60
Tabela 14. Perfil de ácidos gordos da matriz das panquecas sem glúten.....	62
Tabela 15. Perfis de açúcares solúveis na matriz das panquecas sem glúten em várias percentagens de farinha de bolota.	64
Tabela 16. Cor das panquecas sem glúten em várias percentagens de farinha de bolota.	71
Tabela 17. Perfil da textura das panquecas sem glúten em várias percentagens de farinha de bolota.	74

Lista de abreviaturas

AMG/ PAA – Amiloglucosidase/ Pancreática

AOAC – Association of Official Analytical Chemists

APT – Análise de perfil de textura

DAD – Detetor de díodos

ESI – Ionização por electrospray

FAME – Ésteres metílicos de ácidos gordos

FAO – Organização de Alimentação e Agricultura

GAE – Equivalentes em ácido gálico

GC-FID – Cromatografia gasosa com detetor de ionização de chama

GOPOD – Ácido p-hidroxibenzóico e azida de sódio

HHDP – Hexahidroxidifenoílo

HPLC – Cromatografia líquida de alta pressão

INSA – Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge

MS – Espetrometro de Massa

MS/MS – Espetrometria de massa acoplada a espetrometria de massa

SCFA – Ácido gordo de cadeia curta

SGF – Fluido gástrico

SIF – Fluido intestinal

SSF – Fluido de saliva simulado

TFT – Teor de fenólicos totais

THC – Teor de hidratos de carbono

Resumo

A bolota é um fruto silvestre amplamente distribuído e usado como ração animal em muitos países. Este fruto surgiu como uma fonte alternativa de farinha para consumo humano devido ao seu valor nutricional, compostos bioativos e ausência de glúten, sendo vantajosa para a dieta de doentes celíacos. Contudo, contém taninos, que conferem sabor adstringente e dificultam a digestão e a absorção de nutrientes. Este estudo teve como objetivo caracterizar farinhas de bolota de *Quercus pyrenaica* Willd. submetidas a diferentes tratamentos para remoção de taninos, incluindo escaldagem, demolhagem e torragem, além de uma amostra sem tratamento. Cada farinha foi analisada quanto à humidade, teor de cinzas, proteínas, lípidos, fibras, amido, ácidos gordos, açúcares e compostos fenólicos. Os resultados mostraram que a farinha escaldada destacou-se como a mais adequada para consumo humano, devido ao menor teor de compostos fenólicos. Posto isto, também se avaliou o uso desta farinha em panquecas sem glúten, preparadas com percentagens variadas de farinha de bolota (0%, 50%, 75% e 100%) e farinha de arroz (100%, 50%, 25%, 0%). Foram analisadas quanto ao valor nutricional, textura, cor e biodisponibilidade. As panquecas com maior percentagem de farinha de bolota mostraram maior teor de fibras e proteínas e uma melhor digestibilidade proteica, especialmente nas formulações com 100% de bolota, enquanto apresentavam menor teor em hidratos de carbono e valor energético. A farinha de bolota *Q. pyrenaica* apresenta um perfil nutricional rico e propriedades favoráveis, como o facto de ser naturalmente isenta de glúten, demonstrando um grande potencial para aplicação em produtos inovadores e sustentáveis na indústria alimentar.

Palavras-chave: Farinha de bolota, remoção de taninos, composição nutricional, compostos fenólicos, panquecas sem glúten

Abstract

Acorn is a wild fruit widely distributed and used as animal feed in many countries. This fruit emerged as an alternative source of flour for human consumption due to its nutritional value, bioactive compounds and gluten-free, being advantageous for the diet of coeliac patients. However, it contains tannins, which give astringent flavor and make digestion and absorption of nutrients difficult. This study aimed to characterize acorn flour from *Quercus pyrenaica* submitted to different treatments for removal of tannins, including scalding, demolding and roasting, as well as a sample without treatment. Each flour was analyzed for moisture, ash content, protein, fat, fiber, starch, fatty acids, sugars and phenolic compounds. The results showed that the scalded flour stood out as the most suitable for human consumption, due to the lower content of phenolic compounds. This said, the use of this flour in gluten-free pancakes was also evaluated, prepared with varying percentages of acorn flour (0%, 50%, 75% and 100%) and analyzed for nutritional value, texture, color and bioavailability. Pancakes with higher percentage of acorn flour showed higher fiber and protein content and better protein digestibility, especially in formulations with 100% acorn, while reducing carbohydrates and energy value. Acorn flour *Q. pyrenaica* has a rich nutritional profile and favorable properties, such as being naturally gluten-free, demonstrating great potential for application in innovative and sustainable products in the food industry.

Keywords: Acorn flour, removal of tannins, nutritional composition, phenolic compounds, gluten-free pancakes



Capítulo 1



1. Introdução

A inovação alimentar é crucial para enfrentar os desafios da segurança alimentar e sustentabilidade (Herrero et al., 2021). Os ingredientes alternativos como a farinha de bolota, de insetos e de algas são novos alimentos na alimentação humana que estão a ganhar popularidade como opções sustentáveis e nutritivas (M. Li et al., 2023). No caso dos doentes celíacos, que não podem consumir glúten, a introdução de novos alimentos sem glúten é fundamental (Aljada et al., 2021). A farinha de bolota é um exemplo de um possível alimento tradicional ou subutilizado, com potencial para ser redescoberto e introduzido na alimentação humana, de modo a atender as necessidades alimentares atuais, promovendo assim uma economia circular e sustentável (Barros et al., 2022).

A doença celíaca, também conhecida como enteropatia sensível ao glúten, é uma doença autoimune do intestino delgado. Faz com que o sistema imunológico responda ao glúten inadequadamente, causando assim, inflamação e danos no intestino delgado (Posner & Haseeb, 2023). Uma dieta ausente de glúten ao longo da vida é o único tratamento para esta doença e outros distúrbios relacionados ao glúten (Mazzola et al., 2024). A isenção de glúten é um grande desafio para a indústria alimentar, pois o número de pessoas com doenças celíacas tem vindo a aumentar nos últimos anos. Em busca de melhorar a saúde destas pessoas, o mercado tem vindo a aumentar a oferta de produtos sem glúten (Houben et al., 2012).

Ao longo dos anos tem havido um grande crescimento populacional humano. Este fenómeno tem sido tipicamente visto como o principal fator de vários fenómenos ecologicamente e biologicamente destrutivos (Hopfenberg & Pimentel, 2001). De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU) é previsto que a população dos países em desenvolvimento suba para cerca de oito bilhões até 2025 e nove bilhões até 2050 (ONU News Perspectiva Global Reportagens Humanas, n.d.). O esgotamento dos recursos e as mudanças climáticas causadas pelo crescimento populacional, implementou a economia circular (Pomoni et al., 2024), que visa uma abordagem transformadora para a indústria de alimentos, promovendo saúde ambiental bem-estar humano e prosperidade econômica, fornecendo assim uma diminuição das alterações climáticas e a sustentabilidade ambiental (Rabbi & Amin, 2024). A economia circular também visa a minimização do desperdício e maximização do uso de diferentes recursos, contrariamente à economia linear que segue tradicionalmente o lema “extrair, produzir e descartar” (Macarthur, n.d.; Nunes & Oliveira, 2019).

O carvalho *Quercus* pertence à família *Fagaceae* (Korus et al., 2015), os seus frutos, bolotas, foram utilizados como alimento há milhares de anos, quase em todos os lugares com árvores de carvalho. A bolota era um alimento básico encontrados na Europa, Ásia, África, o Médio Oriente e América do Norte (Bainbridge, 2006). O pão de bolota costumava ser cozido na Itália, enquanto, que atualmente, o café de bolota, ainda é produzido em alguns países, como o Japão (Korus et al., 2015). Os fatores que fizeram das bolotas potenciais fonte de alimento é o facto de geralmente amadurecem de uma só vez, de serem de fácil de colheita e de terem uma grande durabilidade com um simples armazenamento. Além do mais, elas também têm uma simples preparação, mesmo para as variedades que precisam ser lixiviadas (Bainbridge, 1987). As sementes de bolota *Quercus* possuem um sabor amargo que está principalmente relacionado ao seu alto teor de taninos (Oracz et al., 2023). O tratamento térmico das bolotas reduz o nível de taninos e aumenta o teor de antioxidantes que são produzidos por sua decomposição (principalmente ácido gálico), o que, por sua vez, melhora significativamente a atividade antioxidante do produto resultante (Korus et al., 2015). A utilização de farinha de bolota para produzir pão sem glúten tem várias vantagens como um produto de panificação com melhor qualidade, rico em compostos bioativos, valorizando a bolota como matéria-prima sub-explorada (Martins et al., 2020). A Organização de Alimentação e Agricultura (FAO) sublinha a importância de alterar os sistemas de produção de alimentos com base na economia circular, tendo o objetivo de melhorar a utilização eficiente dos recursos, dando novos usos aos recursos subexplorados (FAO, n.d.; Martins et al., 2020). Portanto, devido às suas características únicas, a incorporação da farinha de bolota nos produtos de panificação sem glúten pode ser considerada como um ingrediente alternativo realista na produção destes alimentos e como uma boa fonte de compostos bioativos e antioxidantes, melhorando o perfil nutricional do produto final (Levent & Aktaş, 2024).

Posto isto, este estudo visa a utilização da bolota *Quercus pyrenaica* no seu estado maduro, para a transformação em farinha com finalidade de utilização como principal ingrediente em panquecas instantâneas, sem glúten. Para o desenvolvimento destas panquecas sem glúten, as bolotas primeiramente foram divididas em 4 grupos para um posterior tratamento térmico ou lixiviação, 3 grupos sofreram tratamento para a remoção de taninos (escaldagem, demolhagem e torragem) e o quarto grupo não teve tratamento. Após isso as farinhas foram analisadas química e nutricionalmente de modo a determinar qual a melhor para ser utilizada em um produto de panificação. Seguidamente foram feitas

panquecas com várias percentagens de farinha de bolota a 0%, 50%, 75% e 100% e farinha de arroz, nas seguintes percentagens 100%, 50%, 25% e 0%, estas panquecas foram avaliadas do ponto de vista químico, nutricional e sensorial. Com o presente trabalho, pretende-se incorporar os princípios de economia circular, sustentabilidade e inovação alimentar, explorando um alimento sustentável e nutritivo, que pode ajudar a atender as necessidades de uma população crescente com novas alternativas alimentares, pois a bolota encontra-se em abundância no carvalho-negral e não é aproveitado para a alimentação humana. Tendo como vantagem o fato do cultivo deste fruto não requerer grandes quantidades de água ou solo cultivável, este pode representar uma solução viável para incorporar o plano alimentar de uma população crescente de forma sustentável (Food and agriculture organization of the United Nations, 2014).

1.1. *Quercus pyrenaica* Willd

No mundo, existem cerca de 450 espécies de *Quercus* (Sánchez-Burgos et al., 2013). A *Quercus pyrenaica* Willd, é um tipo de *Quercus* popularmente conhecido como carvalho-negral, sendo uma árvore perene que cresce num ambiente mediterrânico, pertencente à família *Fagaceae* (Akcan et al., 2024; Shahamati et al., 2024). A espécie *Quercus pyrenaica* Willd é encontrada em áreas com um regime de precipitação sub-húmidas a húmidas, no entanto, também suporta um défice hídrico considerável no verão (Souto-Herrero et al., 2018). Esta árvore cobre aproximadamente 95% da sua área de distribuição natural, o que a torna uma das espécies de carvalho mais comuns na Península Ibérica. Em Portugal, ocupa cerca de 62.000 hectares, sendo especialmente encontrada na região de Bragança, onde representa cerca de 40% da área total de pastagem (Loureiro et al., 2022). Os ecossistemas de carvalho-negral são fundamentais para a manutenção e melhoria sustentável dos recursos naturais, sendo assim, considerados estratégicos para a conservação da natureza (Loureiro et al., 2022).

O fruto colhido da *Quercus pyrenaica* Willd, figura 1, é comestível sendo este denominado de bolota *Quercus pyrenaica*. Geralmente, a bolota é classificada como um fruto para alimentação animal, porém, no passado foi um alimento importante na gastronomia e medicina das regiões onde essas espécies são encontradas, como indica a riqueza de evidências etnobotânicas e históricas (Vinha, Barreira, et al., 2016; Zocchi et al., 2022). As populações rurais costumavam recolher e comer bolotas de diferentes

Quercus. Enquanto as bolotas doces, tais como *Quercus pubescens* Willd subsp. *Pubescens*, podem ser colhidas e comidas diretamente, as bolotas adstringentes e amargas, ou seja, com alto teor de taninos, como *Quercus pyrenaica*, têm de ser processadas através de aquecimento, lixiviação ou técnicas complexas de desintoxicação envolvendo o uso de argila (Papoti et al., 2018). Além do consumo de bolotas assadas e cozidas, seja em puré ou como ingrediente em uma variedade de pratos, as sementes eram frequentemente moídas em farinha e usadas na preparação de diferentes tipos de pão, especialmente no Mediterrâneo, Ásia Central e Oriente Médio (Zocchi et al., 2022).



Figura 1. *Quercus pyrenaica*: Árvore de porte robusto comum em regiões montanhosas (à esquerda)
Folhas lobadas características e as suas bolotas produzidas por esta espécie (à direita)
(Muthreich et al., 2020; Wilder, n.d.).

1.2. Bolota

1.2.1. Caracterização da bolota

Geralmente, as bolotas são classificadas como um fruto para alimentação animal, no entanto, no passado este fruto, foi um alimento importante na gastronomia e medicina das regiões onde estas espécies se encontravam como indicado pela riqueza de evidências etnobotânicas e históricas (Vinha, Barreira, et al., 2016; Zocchi et al., 2022).

A bolota, também conhecida por glande, é composta pelo pericarpo (casca), que corresponde à camada externa lignificada responsável por proteger a semente, que se situa na parte interna, figura 2. A semente, por sua vez, é formada pela testa, uma espécie de membrana com textura aveludada, e pelo embrião (Pacheco, 2015).



Figura 2. Constituição morfológica dos frutos do gênero *Quercus* (Pacheco, 2015).

O tamanho da semente é um parâmetro de grande relevância ecológica, pois influencia tanto o estabelecimento da planta numa área geográfica específica quanto a sua capacidade de propagação. Além disso, diversos estudos associam a morfometria da bolota (incluindo o tamanho e a forma) às condições edafoclimáticas do ambiente. O tamanho das bolotas maduras é geralmente determinado pelo número de sementes e pela disponibilidade de recursos (Pacheco, 2015).

1.2.2. Caracterização química e nutricional da bolota

O fruto da bolota apresenta uma riqueza nutricional notável, embora as características variem de acordo com a espécie, tabela 1.

Tabela 1. Composição nutricional da bolota, incluindo os principais constituintes, respetivos teores e características, conforme descrito na literatura.

Constituintes	Teor/Características	Referencias
Hidratos de carbono	48-50% Amido principal composto Açúcares solúveis (sacarose e glicose) em concentrações mais baixas.	(Bento et al., 2020; Vinha, Barreira, et al., 2016)
Lípidos	2-30% (ácido oleico, ácido palmítico e ácido linoleico)	(Bento et al., 2020)
Proteínas	2-11%	(Bento et al., 2020; Fernández et al., 2005)
Fibras	10-20%	(Bento et al., 2020)
Vitaminas	Vitaminas A e E	(Bento et al., 2020)
Minerais	F, Cu, Zn, Mn, Ca, Mg, P e K	(Bento et al., 2020)
Outros compostos	Clorofila, carotenoides e polifenóis com elevada capacidade antioxidante.	(Bento et al., 2020; Martins et al., 2020)
Glúten	Naturalmente isento	(Beltrão Martins et al., 2022)

Os hidratos de carbono constituem o principal componente, com o amido como composto predominante, representando 48% a 50% da composição do fruto, além de açúcares solúveis, como sacarose e glicose, presentes em concentrações mais baixas (Bento et al., 2020; Vinha, Barreira, et al., 2016). Os lípidos também são um componente significativo, variando entre 2% e 30%, sendo dominados pelos ácidos gordos

insaturados, como oleico, palmítico e linoleico (Bento et al., 2020). O teor de proteínas, embora modesto, situa-se entre 2% e 11% (Bento et al., 2020; Fernández et al., 2005). Além disso, a bolota contém fibras, minerais, vitaminas A e E, clorofila, carotenoides e vários polifenóis, reconhecidos pela elevada capacidade antioxidante (Bento et al., 2020; Martins et al., 2020). Esses atributos nutricionais diferenciados posicionam a bolota como um alimento funcional (Bento et al., 2020; Fernández et al., 2005). Além disso a bolota é um fruto naturalmente sem de glúten (Beltrão Martins et al., 2022).

1.3. Produtos inovadores a partir da farinha de bolota

1.3.1. Farinha de bolota

Diversas partes das plantas, como sementes, tubérculos e o miolo de vários frutos, têm sido aproveitadas como matéria-prima para a produção de farinhas, tanto como alternativa às opções mais comuns quanto como ingrediente em novos produtos alimentares. A aplicação de farinhas provenientes de diferentes fontes alimentares depende das características reológicas, físico-químicas e funcionais das matérias-primas utilizadas.

Segundo Kaur e Singh (2007), o termo "funcional" refere-se a qualquer propriedade de um ingrediente alimentar que, além do seu valor nutritivo, influencia positivamente a sua aplicação (Kaur & Singh, 2007). A funcionalidade das farinhas está ligada a compostos químicos específicos que dependem do material genético (espécie), das condições de pós-colheita e dos fatores edafo-climáticos (Pacheco, 2015). Recentemente, têm surgido mais estudos sobre matrizes vegetais ricas em amido devido à sua biodegradabilidade e ao custo reduzido. O amido constitui mais de 50% do miolo das bolotas, ele é o principal componente dessas sementes. Além disso, a farinha de bolota apresenta um elevado teor de fibras e propriedades biológicas notáveis, superando as da farinha de trigo, como relatado em vários estudos (Pacheco, 2015).

Outra característica desta farinha, é a ausência de glúten, oferece outras alternativas para dietas isentas de glúten e doentes celíacos, tendo como fim, a utilização em produtos de panificação sem glúten (Martins et al., 2022). Uma dieta sem glúten pode ser benéfica porque melhora os sintomas gastrointestinais. Estudos científicos mostram que evitar o glúten pode ser benéfico para pacientes com sintomas gastrointestinais, como a síndrome do intestino irritável (Niland & Cash, 2018), pois a sua ingestão pode levar

aos seguintes sintomas: inchaço, desconforto e dor abdominal, alteração dos hábitos intestinais, flatulência, erupção cutânea, fadiga, dores de cabeça, distúrbios mentais, irritabilidade, depressão, dores nos ossos e nas articulações e até mesmo distúrbio de déficit de atenção (Niland & Cash, 2018).

Cerca de 1% da população mundial que ingere glúten tem uma doença celíaca autoimune (Poshadri et al., 2023). A utilização da bolota no consumo humano revela-se vantajosa tanto do ponto de vista económico como sustentável (Martins et al., 2022). Dada a tendência predominante de aumento da população, a diversificação das fontes alimentares é importante para evitar a escassez de recursos (Martins et al., 2022). A bolota, um subproduto valioso das florestas, continua a ser subestimada, apesar da sua potencial importância, figura 3.



Figura 3. Bolotas inteiras e farinha de bolota: Bolota (à esquerda)
Bolota transformada em farinha (à direita)
(Volkan Aylanc).

O desenvolvimento de novos produtos à base de farinha de bolota permite classificá-los como alimentos funcionais, devido à riqueza deste ingrediente em compostos biologicamente ativos com propriedades cientificamente comprovadas (Pacheco, 2015). Apesar de se reconhecerem as propriedades funcionais, sensoriais e a boa aceitação da farinha de bolota, a informação disponível sobre a sua composição nutricional e química ainda é limitada. São necessários mais estudos para aprofundar o conhecimento sobre este ingrediente e explorar novas potencialidades deste fruto (Pacheco, 2015).

1.3.1.1. Remoção de taninos

De acordo com a literatura, a farinha de bolota é obtida a partir do embrião, descartando o pericarpo e a cúpula. O embrião é submetido a um processo de secagem e trituração para remover a umidade, oferecendo assim maior estabilidade ao produto (Szablowska & Tańska, 2021). Posto isto, como a bolota têm um elevado teor de taninos, que para além de introduzirem um sabor adstringente na farinha, possui também propriedades anti-nutricionais, dificultando a digestão e podendo causar danos no epitélio intestinal, nos tecidos do fígado e dos rins (Martins et al., 2020). Assim sendo, a remoção destes compostos da farinha é essencial para a obtenção de uma farinha de bolota rica em minerais e fibras (Martins et al., 2020).

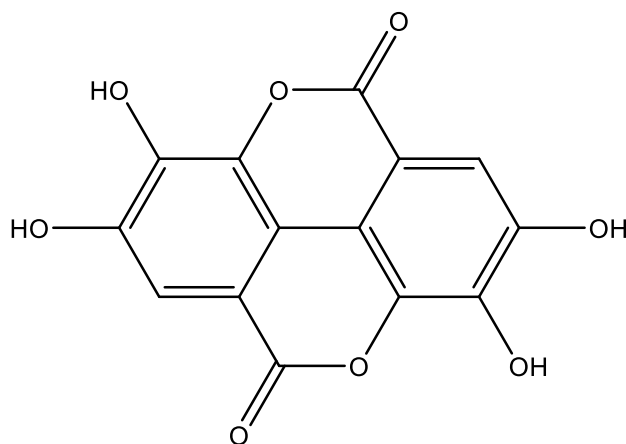


Figura 4. Estrutura química do ácido tânico.

Atualmente o consumo de bolota e dos seus produtos derivados não são muito aceites devido ao seu sabor amargo e adstringente, não sendo consumidas diretamente e por isso sujeitas a tratamentos térmicos/lixiviação (Vieira et al., 2023).

Posto isto, as sementes de bolota não são comumente consumidas diretamente. Primeiramente há um processamento térmico, que pode incluir assar, ferver ou fritar. Geralmente, a torragem é um dos métodos mais utilizados para a remoção de taninos (Oracz et al., 2023). As reações químicas durante o processamento térmico para essa remoção incluem caramelização, reações de Maillard e oxidação lipídica. Estas reações resultam das diferentes composições químicas e características sensoriais, dependendo das condições de processamento. Além disso, os compostos fenólicos podem-se

decompor, transformar e interagir com outros componentes da matriz alimentar, influenciando as propriedades biológicas dos produtos finais (Oracz et al., 2023).

Devido às diversas propriedades biológicas derivadas das propriedades nutricionais e da composição química da bolota e à falta de estudos sobre a farinha de bolota de *Quercus pyrenaica*, este trabalho tem como objetivo obter e caracterizar a farinha deste tipo de bolota com diferentes tratamentos de remoção de taninos para posterior aplicação na alimentação humana.

1.3.1.2. Produtos de panificação a partir da bolota

Nos últimos anos, as panquecas instantâneas têm ganho popularidade, especialmente nos mercados de alimentos instantâneos, onde a conveniência e a rapidez na preparação de alimentos são altamente valorizadas (Fortune Business Insights, n.d.; Park & Kim, 2023). Esses produtos são feitos de modo a oferecer uma solução prática e rápida na preparação de refeições, utilizando apenas a adição de água, leite ou bebida vegetal antes de serem cozinhadas (Park & Kim, 2023).

O desenvolvimento destes alimentos envolve a criação de uma mistura seca que possa ser facilmente hidratada e cozinhada num breve período de tempo (Park & Kim, 2023). Geralmente a composição das panquecas instantâneas inclui farinhas como a de trigo, agentes de crescimento como o fermento em pó, açúcar, sal e leite em pó. Além destes ingredientes, a indústria alimentar adiciona alguns aditivos de modo a melhorar a textura, a cor e a conservação dos alimentos (Yemmireddy et al., 2013).

A escolha da farinha para o desenvolvimento das panquecas instantâneas é de grande importância pois ela vai determinar o sabor e a textura do produto final (Bordenave et al., 2014; Yemmireddy et al., 2013). As farinhas de trigo são as mais utilizadas para produtos de panificação devido ao seu teor de glúten, obtendo assim um produto de estrutura mais macia (Bordenave et al., 2014; El Khoury et al., 2018). No entanto, com o passar do tempo, os consumidores procuram alimentos sem glúten e atualmente as farinhas sem glúten utilizadas são farinha de arroz, farinha de milho e farinha de amêndoa (El Khoury et al., 2018; Šmídová & Rysová, 2022). Os produtos alimentares “glúten free” muitas das vezes necessitam de gomas, como goma xantana ou guar, para obterem uma elasticidade semelhante ao glúten (El Khoury et al., 2018; Rai et

al., 2018). Devido as características nutricionais da bolota esta torna-se uma excelente alternativa para produtos de panificação nomeadamente para panquecas.

1.3.1.3. Farinha de arroz

O arroz (*Oryza sativa* L.) é essencial para a alimentação humana, pois fornecem minerais, vitaminas essenciais, de amido e proteínas essenciais para o ao consumidor (Heberle et al., 2022). Este alimento é essencialmente constituído por amido e é um alimento amplamente utilizada na indústria alimentícia, particularmente em produtos destinados a pessoas com restrições dietéticas, como doentes celíacos (El Khoury et al., 2018; Yun et al., 2014). Ela é obtida através da moagem dos grãos de arroz, e é uma farinha naturalmente isenta de glúten, o que se torna numa opção ideal para a formulação de alimentos sem glúten (Park & Kim, 2023; Yun et al., 2014). Além disso, a farinha de arroz possui um sabor neutro e uma textura fina, o que contribui para a sua versatilidade em várias preparações culinárias, desde pães e bolos a massas e panquecas (Jabco Foods, n.d.).

A farinha de arroz branco é a farinha sem glúten mais comumente usada na indústria, bem como para fins de pesquisa (Patil & Arya, 2017). Nutricionalmente é rica em hidratos de carbono complexos, fornecendo energia de forma sustentável (Orthoefer & Eastman, 2004; Rosell & Marco, 2008). No entanto, é relativamente pobre em proteínas e fibras, especialmente quando comparada com outras farinhas integrais (Omana et al., 2010; Orthoefer & Eastman, 2004; Rosell & Marco, 2008).

Esta farinha apresenta conter 1,42% de lípidos totais em que 0,4% são ácidos gordos insaturados, predominando o ácido linoleico, 2,4% de fibra dietética, 80,1% da sua composição são hidratos de carbono e 5,95% teores de proteína. Também contém minerais, vitaminas E e do complexo B. (U.S. Department of Agriculture, 2019).

1.4. Doença celíaca

A doença celíaca é uma doença crónica autoimune devido à intolerância ao glúten, mais precisamente causada pela proteína prolamina (encontrada no trigo, aveia, cevada e centeio), que causa atrofia das vilosidades intestinais, má absorção e sintomas clínicos que podem aparecer tanto na infância quanto na idade adulta (Osella et al., 2014).

Este problema, afeta cerca de 1% da população mundial, embora muitos casos permaneçam com um diagnóstico incompleto (Kurppa et al., 2024; Rubio-Tapia et al., 2012). Quando um doente celíaco consome glúten, o sistema imunológico responde de forma inadequada, causando danos no revestimento do intestino delgado, afetando a absorção de nutrientes essenciais, levando assim a problemas gastrointestinais, como diarreia, inchaço, e até manifestações extraintestinais, incluindo anemia, fadiga e problemas neurológicos (Fasano & Catassi, 2012; Lebowitz et al., 2017; Posner & Haseeb, 2023).

Atualmente, não existe nenhum tratamento eficaz para a doença celíaca, a única alternativa é uma dieta estritamente isenta de glúten ao longo de toda a vida (Ludvigsson et al., 2014; Zingone et al., 2010). Isso não requer apenas a eliminação de alimentos que contenham glúten, mas também é necessário ter uma especial atenção à contaminação cruzada durante a preparação e a manipulação de alimentos (Thompson et al., 2005; Zingone et al., 2010). Seguir uma dieta sem glúten pode ser desafiador, não só devido à necessidade de evitar uma ampla gama de produtos alimentares, e de haver poucos produtos para essas pessoas, mas também porque muitos alimentos sem glúten disponíveis comercialmente são nutricionalmente desequilibrados, com altos níveis de açúcares, gorduras e baixos teores de fibras, vitaminas e minerais (Melini & Melini, 2019; Missbach et al., 2015).

A isenção de glúten é um grande desafio na indústria alimentar, pois o número de pessoas com doenças celíacas tem vindo a aumentar nos últimos anos. Em busca de melhorar a saúde destas pessoas, o mercado tem vindo a aumentar a oferta de produtos sem glúten (Houben et al., 2012). Uma dieta sem glúten pode proporcionar desequilíbrios nutricionais significativos, afetando tanto macronutrientes quanto os micronutrientes (Abdi et al., 2023). Estes desequilíbrios incluem défices ou excessos de nutrientes, o que pode ter implicações na saúde (Abdi et al., 2023). As pessoas com uma dieta com ausência de glúten, tendem a consumir menos hidratos de carbono complexos e proteínas, enquanto, que a ingestão de gorduras e hidratos de carbono simples aumenta (Abdi et al., 2023). Os hidratos de carbono complexos, fornecem mais nutrientes e fibras do que os simples, sendo assim fundamentais para a saúde intestinal, controlo glicémico e lipídico (Abdi et al., 2023). Os alimentos sem glúten também costumam ter um maior teor calórico, sendo ricos em amidos refinados, gorduras saturadas e pobres em fibras, levando à alta ingestão de açúcares o que leva a ganho de peso e risco de doenças cardiovasculares

mesmo sem alterações na quantidade de alimentos consumidos (Abdi et al., 2023). Além disso, estes produtos, contem baixo teor de proteínas, sendo um problema, uma vez que a proteína ajuda na saciedade, na termogénese e na manutenção muscular (Abdi et al., 2023). A má absorção de nutrientes é comum nestes doentes mesmo com dietas apropriadas, levando a deficiências de ferro, vitamina B12, fosfato e vitaminas lipossolúveis (A, D, E, K) (Caruso et al., 2013). Apenas 6% dos pacientes apresentam desnutrição, enquanto 20% estão acima do peso ou obesos (Abdi et al., 2023).



Capítulo 2



2. Materiais e métodos

As amostras de farinha de bolota foram analisadas para determinar os teores de lípidos, amido, fibras, cinzas, proteínas, humidade, hidratos de carbono, valor energético, ácidos gordos, açúcares solúveis, compostos bioativos e fenólicos totais. Essas análises visaram avaliar o impacto dos diferentes tratamentos de remoção de taninos (escaldagem, demolhagem, torragem ou sem tratamento) no valor nutricional da farinha e identificar o tratamento com menor teor de taninos. Após a seleção do melhor método de remoção de taninos, procedeu-se à preparação das panquecas com várias percentagens de farinha de bolota.

Para garantir a integridade dos compostos bioativos e nutricionais das panquecas formuladas com diferentes percentagens de farinha de bolota (0%, 50%, 75% e 100%), as amostras foram liofilizadas no liofilizador (Lyoquest -55 Plus, Telstar, Barcelona, Espanha) e triturada, eliminando assim a sua humidade. Esse processo também foi aplicado aos ovos utilizados na receita, pois eram frescos, permitindo uma amostra homogeneia para a padronização das análises, facilitando a comparação das panquecas com os ingredientes.

As panquecas nas diferentes formulações foram submetidas a uma série de análises nutricionais e funcionais. Quantificaram-se os teores de cinzas, lípidos, proteínas, fibras, hidratos de carbono e valor energético. Também foram avaliados os açúcares e ácidos gordos, sendo essas mesmas análises estendidas à matriz base das panquecas (sem cozimento), as amostras utilizadas estavam previamente liofilizadas.

A textura e a cor, foram realizadas exclusivamente nas panquecas finalizadas, já a análise de digestão *in vitro* foi com as panquecas liofilizadas, sem avaliação desses parâmetros na matriz. A digestão *in vitro* permitiu avaliar a libertação de açúcares e proteínas durante o processo de digestão simulado, enquanto a análise de textura e cor identificou alterações sensoriais nas diferentes formulações.

Essas análises proporcionam uma caracterização completa das amostras, permitindo avaliar o impacto nutricional e sensorial da adição de farinha de bolota em várias concentrações, bem como as propriedades resultantes dos diferentes tratamentos aplicados à farinha.

2.1. Recolha e preparação das amostras

As amostras de bolota foram recolhidas no seu estado maduro, na aldeia de Prada, Vinhais (Parque Natural de Montesinho), Portugal, em outubro de 2021. Estas foram congeladas a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ até ao dia da sua utilização. Seguidamente foi retirado o pericarpo e a cúpula, e foram separadas em quatro grupos, um dos grupo foi sem tratamento e os restantes foram divididos em três grupos sujeitos a diferentes tipos de processos de tratamento, nomeadamente demolhagem, escaldagem e torragem para posteriormente serem avaliados a nível nutricional, figura 5.

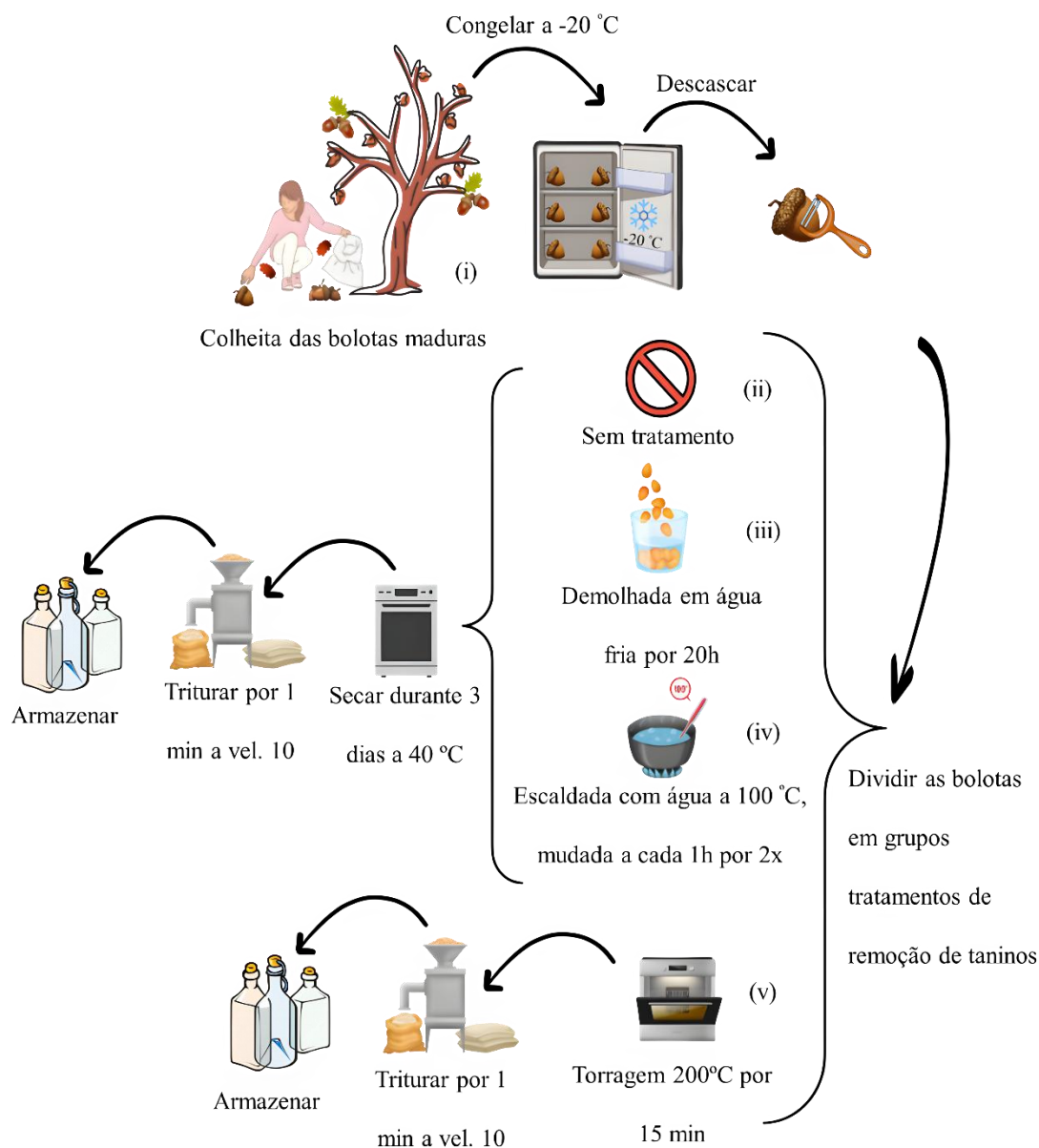


Figura 5. Preparação das farinhas de bolota: (i) colheita de bolotas em estado maduro; (ii) processo de obtenção da farinha de bolota sem tratamento; (iii) processo de obtenção da farinha de bolota demolhada; (iv) processo de obtenção da farinha de bolota escaldada; (v) processo de obtenção da farinha de bolota.

2.1.1. Tratamentos da bolota

No tratamento por imersão (demolhagem), as bolotas foram colocadas em água à temperatura ambiente durante 20 horas. No tratamento de escaldagem, as bolotas foram imersas em água a ferver a 100 °C durante 1 hora, este procedimento foi repetido 2 vezes. Para o tratamento de torragem, as bolotas foram submetidas a um forno (Becken, Worten Equipamentos, Portugal) pré-aquecido a 200 °C durante 15 minutos, figura 5.

Posteriormente, as amostras de bolota, foram secas coletivamente numa estufa (Memmert UNE400, Schwabach, Alemanha) a 40 °C durante 3 dias excluindo as amostras com tratamento torragem. Após a secagem, todas as amostras, incluindo as torradas, foram submetidas a trituração durante 1 minuto à velocidade 10, utilizando um processador de cozinha (Bimby, Thermomix Company, Alemanha) e, posteriormente, armazenadas à temperatura ambiente para posterior análise, figura 5.

2.2. Preparação das panquecas

A preparação das panquecas foi feita com diferentes percentagens de farinha de bolota escaldada. Estas foram congeladas a -20 °C até ao dia da sua utilização. As panquecas foram feitas com diferentes percentagens de farinha de bolota as quais foram a 0%, 50%, 75% e 100%, fazendo um total de 4 diferentes amostras em várias concentrações de farinha de bolota, foi realizada de acordo com as seguintes etapas, figura 6.

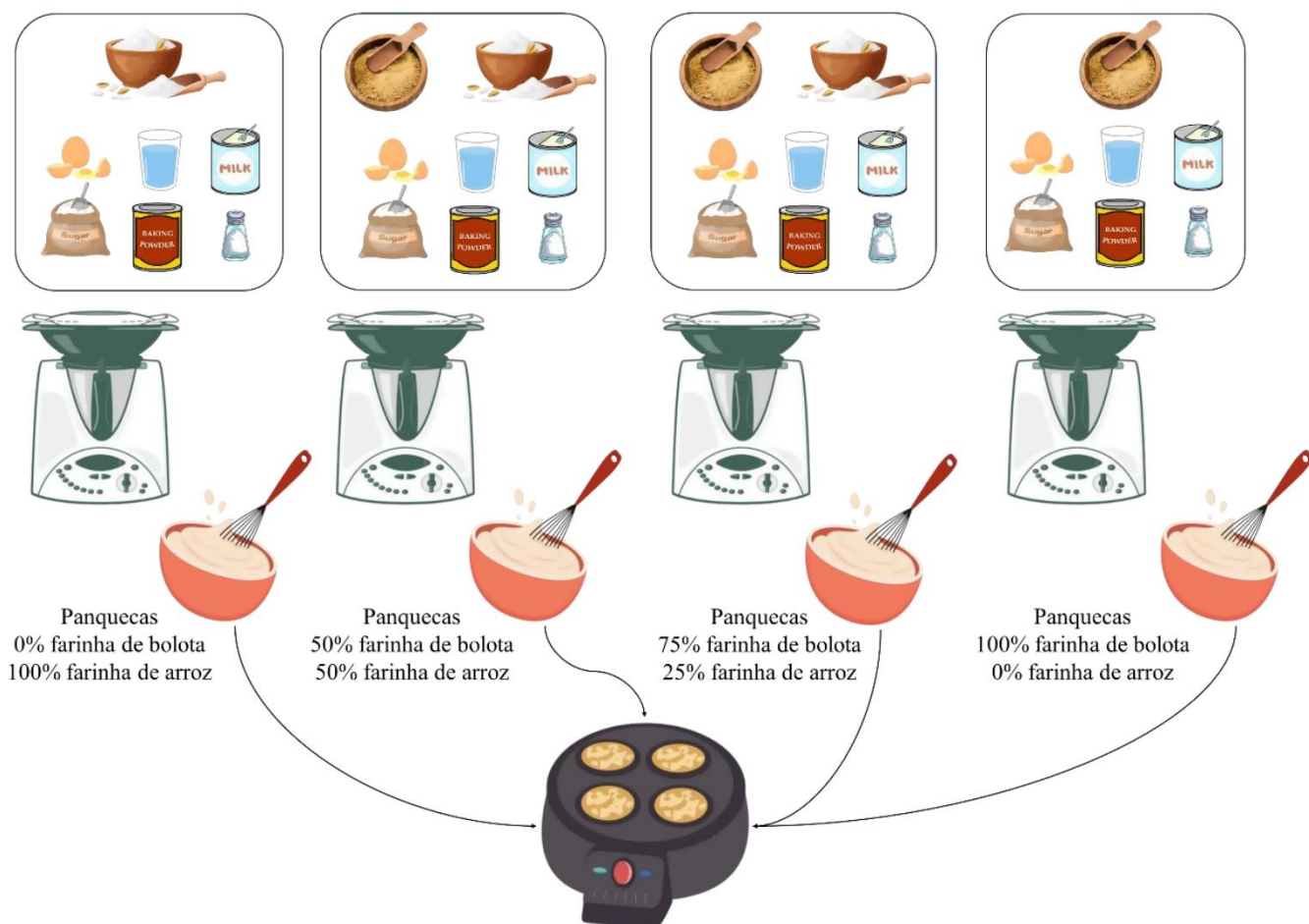


Figura 6. Preparação das panquecas de bolota em várias percentagens.

As panquecas foram formuladas com diferentes percentagens de farinha de bolota (0%, 50%, 75% e 100%), sendo ajustada proporcionalmente a quantidade de farinha de arroz para completar os 100 g de farinha total, tabela 2. Para a formulação a 0%, utilizou-se 100 g de farinha de arroz; para a 50%, 50 g de farinha de bolota e 50 g de farinha de arroz; para a 75%, 75 g de farinha de bolota e 25 g de farinha de arroz; e para a 100%, apenas 100 g de farinha de bolota. Os restantes ingredientes foram mantidos constantes em todas as formulações: 21 g de leite em pó, 85,7 g de água, 15 g de açúcar, 71 g de ovos, 2 g de sal e 4,3 g de fermento químico. Os ingredientes secos (farinha, leite em pó, açúcar, sal e fermento) foram pesados com precisão, enquanto os líquidos (água e ovos) foram medidos separadamente. A mistura foi realizada numa misturadora (Bimby, Thermomix Company, Alemanha) durante um minuto no programa "amassar", resultando numa massa homogénea e pronta para a confeção das panquecas, figura 7.

Tabela 2. Composição das panquecas de farinha de bolota, expressa em gramas.

	Farinha de bolota	Farinha de arroz	Leite em pó	Água	Açúcar	Sal	Fermento químico	Ovos
Panquecas 0%	0	100	21	85,7	15	2	4,3	71
Panquecas 50%	50	50	21	85,7	15	2	4,3	71
Panquecas 75%	75	25	21	85,7	15	2	4,3	71
Panquecas 100%	100	0	21	85,7	15	2	4,3	71



Figura 7. Preparação de panquecas com diferentes formulações de farinha de bolota.

2.3. Análise da composição química e do valor nutricional

As análises às cinzas, humidade, lípidos, proteínas, fibra alimentar e amido foram realizadas de acordo com o procedimento proposto pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2016).

2.3.1. Teor em cinzas e humidade

Para o teor de cinzas, seguiu-se o método AOAC 923.05. Para isso, foram pesados cadinhos de porcelana previamente secos e adicionou-se 0,25 g de amostra. Estes, foram colocados numa mufla (Optic Ivymen System) a 550 ± 5 °C, durante 5h após isso, os cadinhos foram colocados num exsiccador, de modo a arrefecerem e para evitar o ganho de massa por humidade. O cadinho com a amostra seca foi pesada e registada a sua massa para efetuar o cálculo de cinzas. O teor de humidade foi determinado com um analisador de humidade (ADAM, PMB 163, Reino Unido), segundo o método AOAC 925.45. Para isso pesou-se 2 g de amostra diretamente no equipamento, fez-se a leitura e registou-se o valor obtido.

2.3.2. Determinação dos lípidos

O teor de lípidos totais das 4 amostras correspondentes aos tratamentos efetuados para a obtenção da farinha de bolota foi analisado pelo método de extração soxhlet com o solvente hexano a 99,8%, segundo o método AOAC 985.29. Para efetuar a análise, pesaram-se 5 g de amostra, estas foram colocados num cartucho de extração e levados ao soxhlet durante 5 horas após o solvente atingir o ponto de ebulição. Seguidamente, o extrato obtido foi levado para o rota-evaporador (Heidolph, Hei-VAP Silver 4, Heidolph Instruments GmbH & Co. KG, Schwabach, Alemanha) com uma agitação de 150 rpm a 30 °C, até se obterem as amostras isentas de hexano.

2.3.3. Determinação das proteínas

Para a determinação das proteínas, utilizou-se o método de digestão proteica segundo a técnica de macro-Kjeldahl. Para isso, pesou-se 0,25 g de amostra para tubos de Kjeldahl, adicionou-se duas pastilhas de catalisador, 15 mL de ácido sulfúrico e levou-se ao bloco de digestor a 400°C durante 70 minutos, após isto, adicionou-se 25 mL de água e levou-se o tubo ao equipamento de destilação, obtendo a massa de azoto necessária para efetuar o cálculo das proteínas. Para a conversão dos teores de azoto em proteína foi utilizado o fator de correção de 6,25, calculado segundo a técnica de macro-Kjeldahl, utilizando a unidade automática de destilação por arrastamento com vapor de Kjeldahl (Pro-Nitro A, JP Seleta, Barcelona, Espanha), de acordo com o método AOAC 920.87.

$$\text{Teor de proteínas} = ((\text{Nitrogênio (mg)} * 6,25) / \text{massa amostra (mg)}) * 100$$

2.3.4. Determinação das fibras

A fibra foi determinada através de um kit enzimático comercial Megazyme (K-TDFR-100) (Megazyme, 2017), com quatro repetições por amostra. Pesou-se 0,25 g de amostra num tubo de falcon, seguidamente colocou-se 12,5 mL de tampão fosfato e 12,5 µL da enzima comercial amílase, após isto, foi colocado em banho-maria a uma temperatura de 98 °C por 15 minutos. Deixou-se arrefecer e ajustou-se o pH para 7,5, adicionou-se 25 µL de enzima protéase, depois levou-se novamente ao banho-maria a 60 °C com agitação, durante 30 minutos. Arrefeceu-se à temperatura ambiente, ajustou-se novamente o pH para 4,5 e adicionou-se a enzima amiloglicosidase, depois agitou-se novamente no banho-maria a 60 °C, durante 30 minutos. Adicionaram-se 100 mL de etanol a 95%, aquecido a 60 °C e ficou a repousar, cerca de 1h, até se obter um precipitado. Adicionou-se 0,1 g de celite num cadinho filtrante de placa porosa (crisol), previamente calcinado a 105 °C. A celite foi então uniformizada com etanol a 78% utilizando uma bomba de vácuo, depois da solução estar precipitada, esta foi filtrada e adicionaram-se três proporções de 20 mL de etanol a 78%, duas proporções de etanol a 95% e duas vezes 10 mL de acetona a 95%. O cadinho filtrante com o resíduo obtido foi levado para uma estufa a 105 °C, durante a noite, e posteriormente pesado. Duas das repetições de resíduo seco obtido foi colocado em cadinhos de porcelana previamente secos e pesados numa mufla a 600 °C, seguidamente foram pesados para determinar as cinzas obtidas. Para as proteínas, utilizou-se também o resíduo seco obtido da secagem em estufa dos restantes cadinhos, pesaram-se e introduziram-se nos tubos de Kjeldahl, adicionaram-se duas pastilhas de catalisador, 15 mL de ácido sulfúrico e levou-se ao bloco de aquecimento a 400 °C durante 70 minutos, após o que se adicionou 25 mL de água e elevou-se o tubo ao equipamento de destilação, obtendo-se a massa de azoto necessária para a determinação das proteínas.

2.3.5. Determinação do amido

Para a determinação do amido, foi utilizado um kit comercial Megazyme com enzimas digestivas (Megazyme, 2017), pesou-se 0,5 g de amostra, adicionou-se 0,5 mL de etanol a 95% e 17,5 mL de solução tampão maleato, foram adicionados e colocados num banho de água a 37 °C com agitação durante 5 minutos. De seguida, adicionou-se 2,5 mL de solução de amilase pancreática/amiloglucosidase (PAA/AMG) previamente preparada e incubou-se a 37 °C no banho-maria com agitação durante 20 minutos para a determinação do amido resistente digerível, a 120 minutos para a determinação do amido resistente e a 240 minutos para a determinação do amido digerível total. Após o banho, 1,0 mL da solução de amostra foi adicionado a 20 mL de ácido acético 50 mM. 2 mL de cada solução foram transferidos para 2,0 mL de polipropileno e centrifugados a 13000 rpm durante 5 minutos. 0,1 mL de alíquotas foram transferidos em duplicado para tubos e 0,1 mL de amiloglucosidase diluída foi adicionado e incubado a 50 °C durante 30 min. Em seguida, foram adicionados 3,0 mL de solução GOPOD (ácido p-hidroxibenzoico e azida de sódio (0,09% p/v)) e incubados a 50 °C durante 20 minutos. Depois disso, a absorvância da amostra e dos padrões de glicose (0,1 mL de D-glicose, 0,1 mL de ácido acético 100 mM e 3,0 mL de reagente GOPOD) foi medida a 510 nm.

2.3.6. Determinação do teor de hidratos de carbono

Os teores de hidratos de carbono (THC) totais foram determinados a partir da diferença entre 100 g das amostras correspondentes em base seca e a soma parcial dos teores de proteínas, cinzas, lípidos. As amostras foram calculadas utilizando as seguintes equações (Aylanc et al., 2023):

$$\text{Eq. (1) } THC = 100 - (\text{cinzas (g)} + \text{proteínas (g)} + \text{lípidos (g)} + \text{fibras (g)})$$

2.3.7. Determinação do valor energético

O valor energético dos alimentos tem com base o conteúdo de macronutrientes e fibras. O cálculo do valor energético, considera que as proteínas e os hidratos de carbono

fornecem 4 kcal por grama, enquanto as fibras contribuem com 2 kcal por grama, devido ao seu menor impacto energético. Assim, a fórmula para determinar o valor energético total (em quilocalorias) de um alimento é dada pelas seguintes equações (Aylanc et al., 2023):

$$\begin{aligned} \text{Eq. (2) Valor energetico (Kcal)} &= \\ &= 4 \times (\text{proteinas (g)} + \text{hidratos de carbono (g)}) + 2 \times (\text{fibras (g)}) \end{aligned}$$

2.4. Perfil dos ácidos gordos

Os ácidos gordos foram determinados por cromatografia gasosa com detetor de ionização de chama (GC-FID). Para esta análise, utilizou-se a gordura obtida da extração soxhlet, que teve de ser submetida a um processo de derivatização, modificando assim os compostos presentes no óleo para obter características cromatográficas como o aumento da volatilidade e da estabilidade térmica de modo a melhorar as propriedades cromatográficas dos compostos de interesse para a análise cromatográfica (Rodrigues De Albuquerque, 2023).

Para derivatizar a amostra, o reagente A (2:1:1 metanol: ácido sulfúrico: tolueno) foi adicionado ao extrato no tubo de ensaio e colocado em banho-maria, com agitação 160 rpm a uma temperatura de 50 °C durante a noite. De seguida, adicionaram-se 3 mL de água destilada à amostra e agitou-se com o vortex. Seguidamente, adicionaram-se 3 mL de éter etílico e agitou-se novamente no vortex. Deixou-se repousar até se obterem duas fases, e retirou-se o sobrenadante para um frasco onde se adicionou previamente 1 colher de sulfato de sódio anidro. Em seguida, com uma seringa e um filtro, filtrou-se o sobrenadante para um vial e guardou-se no congelador até à análise. O perfil de ácidos gordos foi determinado por Cromatografia Gasosa (GC) com Deteção de Ionização de Chama (FID), utilizando um instrumento YOUNG IN Chromass 6500 GC System equipado com injetor split/splitless a 250°C e injeção split a 1:80, FID a 260°C e coluna Zebron-Fame (20 m × 0,18 mm × 0,15 µm df). A programação de temperatura do forno obedeceu à seguinte configuração: a temperatura inicial da coluna foi de 80 °C, durante 1,5 min; em seguida, a temperatura foi aumentada a 40°C/min até 160°C, 5°C/min até 185°C, 30°C/min até 260°C durante 4 min. O hidrogénio (gás transportador) tinha um fluxo de 0,6 mL/min (0,61 bar), medido a 250°C. Para cada análise foi injetado 1 µL da

amostra. A identificação e quantificação foram realizadas comparando os tempos de retenção relativos dos picos de FAMES das amostras com padrões e os resultados foram registados e processados usando o software Clarity 4.0.1.7 (DataApex, Praga, República Tcheca) e expressos em percentagem relativa de cada ácido gordo.

2.5. Perfil dos açúcares solúveis

Para a extração dos açúcares, pesou-se 1 g da amostra deslipídada, ou seja, utilizou-se o resíduo do soxhlet para um tubo de falcon. Adicionaram-se 40 ml de etanol a 80% e colocou-se num banho de água a 80 °C durante 90 minutos, com agitação de 15 em 15 minutos. Em seguida, centrifugou-se a 5000 rpm durante 10 minutos, recolheu-se o sobrenadante, filtrou-se e levou-se para o rota-evaporador (Heidolph, Hei-VAP Silver 4, Heidolph Instruments GmbH & Co. KG, Schwabach, Alemanha). O extrato obtido foi lavado três vezes com 5 ml de éter etílico numa ampola de decantação para remover o resíduo de gordura. O extrato obtido foi então colocado num balão volumétrico de 5 mL e completado com água destilada. A solução resultante foi filtrada para um vial para posterior análise cromatográfica (Spréa et al., 2020).

Os açúcares livres foram analisados utilizando um sistema de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) (Knauer, sistema Smartline) acoplado a um detetor de índice de refração (RI) e uma coluna Eurospher 100-5 NH₂ (4,6 × 250 mm, 5 mm, Knauer). A fase móvel foi acetonitrilo/água desionizada, 70:30 (v/v) com um fluxo constante de 1 mL/minuto. Os açúcares foram identificados por comparação dos tempos de retenção dos picos com os dos padrões.

2.6. Compostos fenólicos

2.6.1. Preparação do extrato hidroetanólico

A extração foi realizada de acordo com o método descrito por (Aylanc et al., 2021). Pesaram-se 2 g de cada amostra, adicionaram-se 40 mL de etanol/água destilada (80:20, v/v) e colocou-se em agitação magnética à temperatura ambiente durante 4 horas. A mistura resultante foi filtrada através de um filtro de papel Whatman n.º 4 e o resíduo foi novamente extraído nas mesmas condições. Seguidamente, os extratos foram combinados e o solvente foi evaporado a 40 °C num rota-evaporador (Evaporador rotativo modelo

Hei-VAP da Heidolph, Schwabach, Alemanha). A porção aquosa foi liofilizada para obter o extrato seco utilizando um liofilizador (FreeZone 4.5 modelo 7750031 da Labconco, Kansas City, KS, EUA) e armazenados à temperatura ambiente até análise posterior.

2.6.2. Determinação dos fenólicos totais

O conteúdo fenólico total (TFT) foi determinado usando o método Folin-Ciocalteu (Aylanc et al., 2021). No procedimento, 0,5 mL de extrato hidroetanólico (1 mg/mL) foi misturado com 0,25 mL de reagente de Folin-Ciocalteu. Após 3 min, foi adicionado 1 mL de Na₂CO₃ 20% e o volume final foi ajustado para 5 mL com água desionizada. As soluções foram deixadas num banho de água a 70 °C durante 10 minutos e depois arrefecidas no escuro durante 30 minutos. A absorvância foi lida a 760 nm utilizando um espectrofotómetro (espectrofotómetro Analytikijena 200-2004 da Analytik Jena, Jena, Alemanha). O valor TFT das amostras dos diferentes tratamentos de farinha de bolota foi expresso em miligramas de equivalente de ácido gálico por grama de amostra de peso seco (mg GAE/g).

2.7. Análise LC/DAD/ESI-MSⁿ de compostos bioativos

Os extratos hidroetanólicos preparados anteriormente foram novamente solubilizados numa mistura de etanol/água (20:80, v/v; 1 mL) e filtrados utilizando um filtro de membrana de 0,22 µm. Os compostos fenólicos foram separados e analisados por cromatografia líquida de alta pressão (HPLC) em um sistema Dionex Ultimate 3000 UPLC (Thermo Scientific, San Jose, CA, EUA), seguindo o protocolo descrito por Barros et al., 2013 com algumas adaptações. A deteção foi efetuada com recurso a um detetor de díodos (DAD), com cromatogramas processados a 280 nm e 370 nm, bem como a um espectrómetro de massa (MS) Orbitrap Exploris 120 (ThermoFinnigan, San Jose, CA, USA), equipado com ionização por electrospray (ESI) a funcionar em modo negativo. Os espectros foram registados no modo de varrimento total e MS₂ na gama m/z 100-1500 utilizando o software Xcalibur® (ThermoFinnigan, San Jose, CA, EUA).

Os compostos fenólicos foram identificados por comparação dos seus tempos de retenção e espectros UV-Vis e de massa ([M+H]⁺) e fragmentos MS/MS) com padrões autênticos, quando disponíveis, ou por comparação com dados encontrados na literatura.

A quantificação foi efetuada utilizando curvas de calibração de substâncias padrão para o ácido elágico ($y = 26719x - 317255$; $R^2 = 0,9986$) e o ácido gálico ($y = 131538x + 292163$; $R^2 = 0,9969$). Na ausência de padrões disponíveis, os compostos foram expressos em equivalentes do composto fenólico estruturalmente mais semelhante e os resultados foram expressos em mg/g de extrato.

2.8. Digestão Gastrointestinal *In Vitro*

A digestão estática *in vitro* foi realizada pelo método desenvolvido pela rede internacional COST INFOGEST (Minekus et al., 2014). Este método consiste em três fases sequenciais digestivas: digestão oral, gástrica e intestinal, figura 8 e tabela 3 com material suplementar.

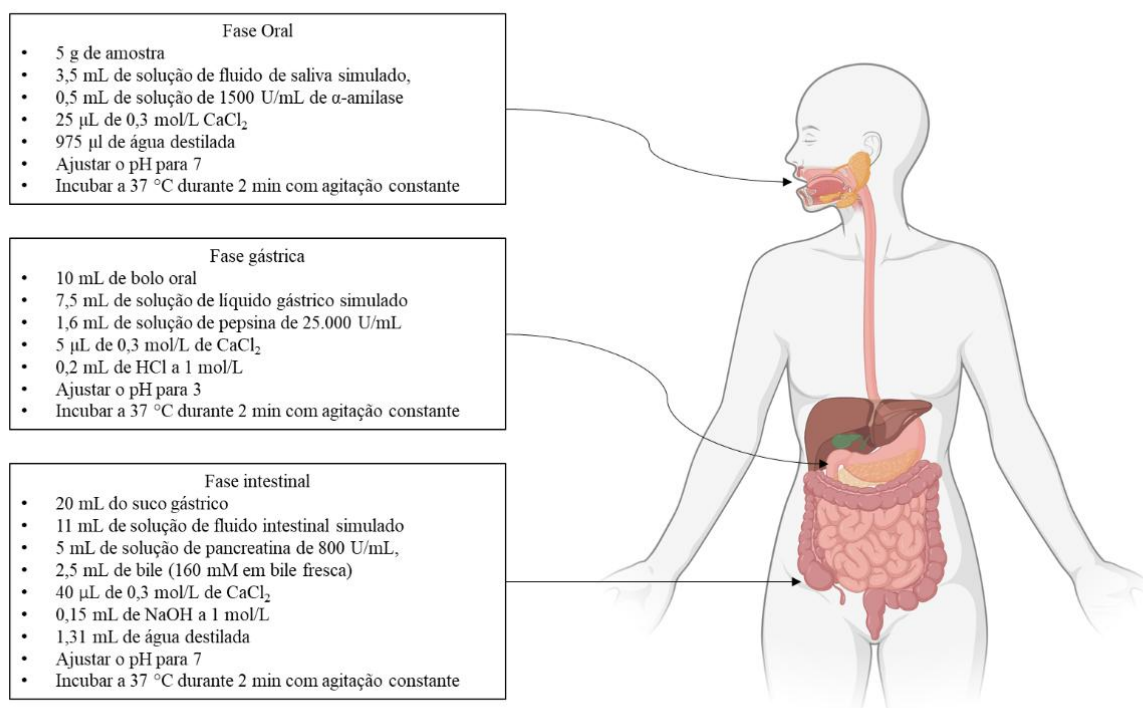


Figura 8. Visão geral de um método de digestão *in vitro* simulado. As atividades enzimáticas estão em unidades por mL da mistura final de digestão em cada fase de digestão correspondente (Minekus et al., 2014).

Tabela 3. Preparação de soluções-mãe de fluidos de digestão simulados: fluido de saliva simulado (SSF), fluido gástrico (SGF) e fluido intestinal (SIF) soluções-mãe. O volume final para cada líquido digestivo é de 500 mL a uma concentração de 1,25 (Minekus et al., 2014).

Constituinte	SSF		SGF		F			
	pH 7		pH 3		pH 7			
Concentração	Volume	Concentração	Volume	Concentração	Volume	Concentração		
	g/L	mol/L	mL	mmol/L	mL	mmol/L	mL	mmol/L
KCl	37,3	0,5	15,1	15,1	6,9	6,9	6,8	6,8
KH ₂ PO ₄	68	0,5	3,7	3,7	0,9	0,9	0,8	0,8
NaHCO ₃	84	1	6,8	13,6	12,5	25	42,5	85
NaCl	117	2	-	-	11,8	47,2	9,6	38,4
MgCl ₂ (H ₂ O)	30,5	0,15	0,5	0,015	0,4	0,1	1,1	0,33
(NH ₄) ₂ CO ₃	48	0,5	0,06	0,006	0,5	0,5	-	-
Para ajuste do pH								
	mol/L	mL	mmol/L	mL	mmol/L	mmol/L	mL	mL
NaOH	1	-	-	-	-	-	-	-
HCl	6	0,9	1,1	1,3	15,6	0,7	8,4	
CaCl ₂ (H ₂ O) que não é adicionado aos fluidos de digestão simulados								
CaCl ₂ (H ₂ O)	g/L	mmol/L	mmol/L	mmol/L	mmol/L	mmol/L	mmol/L	mmol/L
	44,1	0,3		1,5*		0,15*		0,6*

* é a concentração correspondente de Ca²⁺ na mistura de digestão final.

2.8.1. Fase oral

Pesou-se 5 g de amostra das panquecas e adicionou-se 3,5 mL de solução de fluido de saliva simulado (SSF), seguidamente colocou-se 0,5 mL de solução de 1500 U/mL de α -amílase, foi adicionado 25 μ L de CaCl₂ a 0,3 mol/L e 975 μ l de água destilada, ajustou-se o pH para 7 com a adição de NaOH a 1 mol/L, foi incubado em banho-maria, no escuro, a 37 °C durante 2 min com agitação constante.

2.8.2. Fase gástrica

Na fase gástrica, 10 mL de bolo alimentar foi misturado com 7,5 mL de solução de líquido gástrico simulado, seguido de 1,6 mL de solução de pepsina de 25.000 U/mL, posto isto, foi adicionado 25 μ L de CaCl₂ a 0,3 mol/L e 975 μ l de água destilada. De

seguida, o pH foi ajustado para 3 com HCl a 1 mol/L, posto isto a mistura foi a incubar durante 2 h nas mesmas condições que na fase oral.

2.8.3. Fase intestinal

A fase intestinal foi a fase final, nesta fase foi adicionado 11 mL de solução de fluido intestinal simulado, à mistura da fase gástrica, 5 mL de solução de pancreatina de 800 U/mL, 2,5 mL de bile (160 mM em bile fresca), posto isto, foi adicionado 40 µL de CaCl₂ a 0,3 mol/L, 0,15 mL de NaOH a 1M e 1,31 mL de água destilada. Ajustou-se o pH para 7 e incubou-se nas mesmas condições que a fase gástrica.

Por fim, as amostras obtidas das três fases de digestão foram centrifugadas durante 15 min a 10.000× g a 4 °C, obtendo duas fases frações solúveis e o pellet obtido foram armazenadas a -32 °C até as análises posteriores. Cada amostra foi digerida em triplicado e as réplicas foram misturadas.

2.8.4. Determinação de açúcares nas amostras digeridas

Para a determinação dos açúcares das amostras digeridas, foram retirados 2 mL do sobrenadante, a solução resultante foi filtrada para posterior análise cromatográfica nas mesmas condições que a análise de açúcares das amostras não digeridas (feitas de acordo com o ponto 2.5).

2.8.5. Determinação de proteínas nas amostras digeridas

Para a análise das proteínas foi pesada 1 g do sobrenadante obtido da centrifugação para um tubo de Kjeldahl, as proteínas foram determinadas com o mesmo método que as amostras não digerida (feitas de acordo com o ponto 2.3.3).

2.9. Preparação das panquecas para a cor e textura

As amostras de panquecas de bolota foram feitas com um cortador de bolachas redondo com 9 cm de diâmetro (Gwhole) e 30 mL de massa de panqueca crua, o cortador de bolachas foi untado com óleo juntamente com a crepeira (Silvercrest) colocado por cima dela previamente aquecida e colocada a massa dentro do cortador de bolachas de modo a ficar uniforme, o nível de temperatura foi regulado pelo botão da crepeira a 2.5, a panquecas foram cozinhada durante 1,30 min e viradas permanecendo por mais 1 min, posto isto foram retiradas, deixadas arrefecer e procedeu-se às analisar de cor e textura.

2.9.1. Cor

A cor das panquecas foi determinada por um método colorimétrico (modelo CR-400, Konica) previamente calibrado usando a placa branca padrão. Usando o iluminante C e a abertura do diafragma de 8 mm, o CIE $L^*a^*b^*$ os valores foram registados e feitas as medias.

O valor de luminosidade, L^* , é o valor da claridade variando de branco a preto, assumindo o valor 0 (preto absoluto) a 100 (branco total). O valor de a^* pode variar de verde a vermelho ($a > 0$ vermelho; $a < 0$ verde) e o valor de b^* pode variar de azul a amarelo ($b > 0$ amarelo; $b < 0$ azul). De modo a obter essas informações, o aparelho determina as seguintes coordenadas, figura 9:

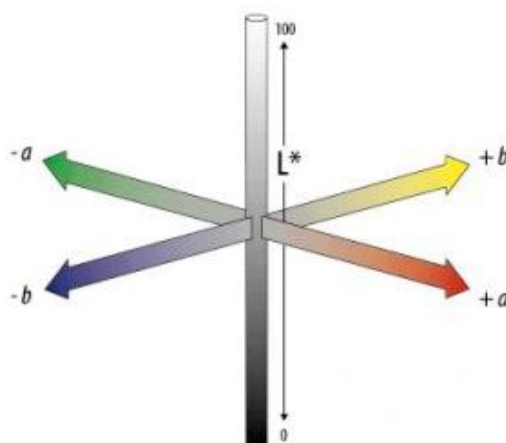


Figura 9. Gráfico das coordenadas de cor CIE $L^*a^*b^*$ (MiMoriarty, n.d.).

2.9.2. Textura

Para determinar perfil da textura das panquecas, foi utilizado o equipamento de textura Stable Micro Systems (Vienna Court, Godalming, UK) TA.XT Plus com uma célula de carga de 30 kg. A sonda utilizada foi a sonda esféricas/ Magness-Taylor probe 36 r, que realizou uma análise de perfil de textura (APT), dando os valores de dureza, fraturabilidade, aderência, elasticidade, coesão, elasticidade, mastigabilidade e resiliência, realizando duas compressões na amostra. As velocidades pré e pós-teste foram definidas em 3 mm/s e o modo alvo foi definido para 25% de deformação, que começou a 50 g de força. Os resultados foram analisados através do programa Exponent.

2.10. Análise dos dados

Todas as análises foram efetuadas em triplicado e os dados foram apresentados como média \pm desvio padrão (DP). A análise estatística dos dados foi efetuada utilizando o GraphPad Prism versão 9.3 (San Diego, CA, EUA), tendo sido considerado significativo um valor de $p < 0,05$.



Capítulo 3



3. Resultados e discussão

3.1. Farinha de bolota

3.1.1. Análises nutricionais

A bolota é classificada como um fruto com notáveis valores nutricionais, com potencial para estarem presentes na dieta humana (Vinha, Barreira, et al., 2016). A tabela 4 apresenta os resultados da composição nutricional das farinhas de bolota. Cada farinha apresenta valores diferentes para os parâmetros nutricionais analisados. Todas as farinhas de bolota tratadas exibiram níveis favoráveis de hidratos de carbono (45,8 - 63,8%), incluindo um teor substancial de amido (17,0 - 50,7%), juntamente com quantidades notáveis de lípidos (3,5 - 5,4%) e teor de proteínas (5,1 - 5,7%). Em geral, a farinha de bolota não tratada é a amostra com menor teor de proteínas, lípidos, amido e hidratos de carbono totais em comparação com as tratadas. Isto indica que os vários tratamentos tiveram um efeito significativo nas amostras de bolota e, nalguns casos, isto resultou em diferenças estatisticamente significativas. Ao contrário das amostras de farinha não tratadas, a farinha de bolota escaldada apresentou um teor mais elevado de lípidos, proteínas, amido e hidratos de carbono. A farinha de bolota torrada tinha um teor de cinzas mais elevado e um teor de humidade mais baixo, ao contrário da farinha de bolota demolhada. Como era de esperar, estes tratamentos provocaram diferenças significativas no teor de humidade. No entanto, embora se tenham registado algumas diferenças entre os tratamentos em termos de cinzas, lípidos e proteínas, estas não foram estatisticamente significativas ($p > 0,05$).

Tabela 4. Valores nutricionais da farinha de bolota (g/100g).

	Sem tratamento	Escaldada	Torrada	Demolhada
Cinzas	1,53 ± 0,36 ^a	1,27 ± 0,11 ^a	1,64 ± 0,17 ^a	1,12 ± 0,15 ^a
Humidade	10,47 ± 0,60 ^b	11,68 ± 0,25 ^a	6,42 ± 0,39 ^c	12,25 ± 0,08 ^a
Lípidos	3,49 ± 0,08 ^a	5,36 ± 2,64 ^a	4,88 ± 2,75 ^a	3,65 ± 0,07 ^a
Proteínas	5,08 ± 0,12 ^a	5,68 ± 0,73 ^a	5,60 ± 0,37 ^a	5,25 ± 0,61 ^a
Fibras	43,87 ± 3,78 ^a	25,49 ± 11,34 ^b	31,55 ± 2,03 ^{ab}	36,78 ± 0,64 ^{ab}
Amido	16,96 ± 0,10 ^a	50,65 ± 0,64 ^b	38,70 ± 2,46 ^c	30,55 ± 1,62 ^d
Hidratos de carbono	45,84 ± 4,02 ^b	63,79 ± 10,66 ^a	56,26 ± 2,26 ^{ab}	53,20 ± 0,23 ^{ab}
Valor energético (Kcal)	322,65 ± 7,13 ^b	363,39 ± 22,61 ^a	354,17 ± 4,65 ^{ab}	340,48 ± 0,77 ^{ab}

Os valores para o valor energético são expressos em kcal/100 g, enquanto os valores para o resto são expressos em g/100 g. Cada valor é a média DP, n = 3. Em cada coluna, diferentes letras sobrescritas significam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Ao comparar os resultados obtidos nos estudos realizados com a farinha de bolota torrada das espécies *Q. rutondifolia* e *Q. ilex*, tabela 5, os resultados obtidos nas análises da farinha de bolota de *Q. pyrenaica* em parâmetros como teor de proteína e cinzas, obtiveram resultados diferentes das espécies avaliadas e citadas na literatura. A *Q. pyrenaica* apresenta menor teor de lípidos, humidade, fibras e hidratos e maior teor de amido que as demais espécies citadas. Estas diferenças podem ser devidas à diferença de espécies, ao processamento das bolotas, às diferentes condições de cultivo e ao stress ambiental (Silva et al., 2016).

Tabela 5. Valores nutricionais das farinhas de bolota torradas, a partir de diferentes estudos (g/100 g).

	<i>Q. rotundifolia</i>	<i>Q. ilex</i>
Cinzas	2,00 ± 0,09	1,81 ± 0,02
Humidade	22,05 ± 4,60	9,65 ± 1,91
Lípidos	10,17 ± 1,27	13,86 ± 0,03
Proteínas	4,32 ± 0,00	5,00 ± 0,24
Fibras	16,76 ± 2,24	13,00 ± 0,13
Amido	52,07 ± 6,86	54,48 ± 0,65
Hidratos de carbono	83,21 ± 1,12	78,76 ± 0,30
Ref.	(Silva et al., 2016)	(Silva et al., 2016)

O teor de humidade é mais elevado nas amostras de farinha demolhada e escaldada, uma vez que as bolotas foram sujeitas a um processo de hidratação, enquanto as amostras de farinha torrada têm um teor de humidade mais baixo, uma vez que foram sujeitas a um fluxo contínuo de ar quente e seco até atingirem um teor de água estabilizado, durante o processo de torragem a quantidade de água presente na atmosfera circundante é menor (Grant et al., 2004; Silva et al., 2016). A menor quantidade de humidade presente nas farinhas secas resultará provavelmente numa menor atividade de água, razão pela qual é provável que tenham um prazo de validade mais longo do que as farinhas torradas (Grant et al., 2004; Silva et al., 2016).

Além disso, a farinha de bolota apresentou uma quantidade consideravelmente maior de fibra (5 vezes mais) em comparação com a farinha de trigo, tabela 6 (INSA_pt, n.d.). Como a fibra alimentar tem sido associada a muitos benefícios para a saúde, incluindo a redução do risco de desenvolver doenças coronárias, acidentes vasculares cerebrais e diabetes, este parece ser outro fator de interesse na utilização da farinha de bolota (Anderson et al., 2009). Além disso, torna-se evidente que a farinha de bolota é comparativamente menos densa do ponto de vista nutricional do que a farinha de trigo.

Tabela 6. Valores nutricionais da farinha de trigo (INSA_pt, n.d.)

Humidade (g/100g)	Lípidos (g/100g)	Proteínas (g/100g)	Fibra (g/100g)	Amido (g/100g)	Hidratos de carbono (g/100g)	Valor energético (Kcal)
121	1,5	8,5	3,3	71,6	73,7	349

Este facto pode representar uma potencial desvantagem para indivíduos que procuram produtos de panificação com perfis nutricionais melhorados. Notavelmente, a farinha de bolota, para além de não conter glúten, tem um teor de lípidos (cinco vezes) e de fibra significativamente mais elevado do que a farinha de trigo tradicional. No entanto, a farinha de bolota apresenta níveis de proteína notavelmente mais baixos, um valor energético reduzido e um teor de fibra mais elevado, o que constitui uma opção vantajosa para os consumidores conscientes da ingestão calórica.

3.1.2. Ácidos gordos

A tabela 7 mostra os perfis de ácidos gordos observados na farinha de bolota submetida a diferentes tratamentos e não tratada. A farinha de bolota torrada apresenta uma concentração relativamente elevada de ácidos gordos. Entre estes, predominam o ácido butírico (90,2 - 96,1%) e o ácido oleico (4,9 - 2,0%). Além disso, foram encontrados outros ácidos gordos na farinha de bolota, o que está de acordo com trabalhos anteriores (Martins et al., 2020). Os diferentes tratamentos tiveram alguns efeitos na composição em ácidos gordos da farinha de bolota. Por exemplo, provocaram alguns aumentos na percentagem parcial de ácido palmítico e de ácido linoleico, tabela 7.

Tabela 7. Perfil de ácidos gordos das farinhas de bolota.

Compostos identificados	Sem tratamento	Escaldada	Torrada	Demolhada
Ácido butírico	96,08 ± 0,08	93,20 ± 0,01	90,23 ± 0,36	95,13 ± 0,02
Ácido mirístico	-	-	0,01 ± 0,00	-
Ácido palmítico	0,64 ± 0,00	1,21 ± 0,00	1,71 ± 0,06	0,89 ± 0,00
Ácido palmitoleico	0,01 ± 0,00	0,03 ± 0,00	0,04 ± 0,00	0,04 ± 0,0
Ácido heptadecanoico	-	-	0,01 ± 0,00	-
Ácido esteárico	0,12 ± 0,00	0,17 ± 0,00	0,21 ± 0,00	0,11 ± 0,00
Ácido oleico	2,00 ± 0,00	3,48 ± 0,00	4,90 ± 0,22	2,39 ± 0,00
Ácido linoleico	0,95 ± 0,00	1,60 ± 0,10	2,47 ± 0,05	1,21 ± 0,00
Ácido α -linolénico	0,08 ± 0,00	0,11 ± 0,00	0,16 ± 0,01	0,08 ± 0,00
Ácido araquídico	0,03 ± 0,00	0,04 ± 0,00	0,05 ± 0,00	0,03 ± 0,00
Ácido eicosenoico	0,02 ± 0,00	0,03 ± 0,00	0,06 ± 0,00	0,03 ± 0,00
Ácido behénico	0,02 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,04 ± 0,00	0,02 ± 0,00
Ácido lignocérico	0,05 ± 0,00	0,04 ± 0,00	0,03 ± 0,00	0,02 ± 0,00

Os valores são expressos em percentagem relativa (R%).

O ácido butírico é um ácido gordo de cadeia curta (SCFA), normalmente produzido por bactérias anaeróbias que fermentam as fibras alimentares no trato intestinal (Sun et al., 2024), desempenha um papel não só na barreira intestinal local, mas também a nível sistémico. Este ácido gordo é um dos ácidos gordos mais abundantes com propriedades anti-inflamatórias ou imunossupressoras (Zhou et al., 2023). O ácido oleico é um ácido gordo monoinsaturado que, quando se encontra num nível elevado, aumenta a estabilidade oxidativa dos alimentos e proporciona um prazo de validade prolongado. O consumo de ácido oleico é benéfico para o sistema cardiovascular e reduz a pressão arterial, combatendo o risco de doenças cardiovasculares ao nível do stress oxidativo, inflamação, pressão arterial, função endotelial e colesterol (Gulten et al., 2023; Lu et al., 2024).

Apesar do teor em lípidos não ser elevado, revelou a presença de alguns ácidos gordos benéficos, por exemplo, antioxidantes lipídicos e ácidos gordos polinsaturados

(AGPI), especialmente ómega-6, por outro lado, existe uma ligação bem documentada entre o desenvolvimento de doenças coronárias graves e a ingestão de ácidos gordos na alimentação (embora o tipo de AGPI seja um marcador de risco determinante) (Anderson et al., 2009).

3.1.3. Açúcares

A tabela 8 mostra o perfil em açúcares encontrado nas diferentes farinhas obtidas de bolota de *Q. pyrenaica*. Verificou-se a presença de frutose, manose, glicose e sacarose. No entanto, a sacarose só foi detetada na farinha torrada. A frutose e a manose foram os açúcares mais abundantes nas amostras, sendo a frutose a mais predominante em todas as amostras.

O tratamento de escaldagem apresentou um teor mais elevado de frutose, enquanto o tratamento de torragem continha menos teor deste açúcar. No que diz respeito à manose, a farinha de bolota torrada apresenta valores mais elevados e a farinha sem tratamento valores mais baixos. A glicose, por seu lado, está presente em todas as amostras, mas em quantidades muito reduzidas, sendo a bolota escaldada a que apresenta o teor mais elevado e a torrada o mais baixo, no entanto, todas as amostras apresentam teores próximos da sacarose. Quanto à sacarose, a farinha de bolota torrada foi a única em que este açúcar foi detetado.

Tabela 8. Perfil de açúcar solúvel das farinhas de bolota.

	Frutose	Manose	Glicose	Sacrose
Sem tratamento	4,5 ± 0,07 ^a	0,14 ± 0,00 ^{cb}	0,02 ± 0,00 ^b	-
Escaldada	5,96 ± 0,11 ^a	0,18 ± 0,00 ^b	0,03 ± 0,00 ^a	-
Torrada	1,69 ± 0,00 ^b	0,25 ± 0,02 ^a	0,01 ± 0,00 ^c	0,07 ± 0,01 ^a
Demolhada	2,52 ± 1,17 ^b	0,15 ± 0,03 ^b	0,02 ± 0,00 ^b	-

Valores são expressos em g/100g

Cada valor é a média DP, n = 3. Em cada coluna, diferentes letras sobscritas significam diferenças estiticamente significativas (p < 0,05).

Os resultados indicam que os tratamentos de remoção de taninos afetam o teor de açúcar das farinhas. Estas alterações podem estar associadas à lixiviação, caramelização ou degradação das amostras (Castro et al., 2022). A farinha escaldada aumenta significativamente o teor de frutose, manose e glicose. Isto pode dever-se à decomposição de compostos mais complexos em açúcares mais simples ou à libertação de açúcares que estavam retidos noutras formas (Castro et al., 2022). Nas amostras torradas, a frutose e a glicose são reduzidas, possivelmente devido à caramelização ou à decomposição térmica. No entanto, regista-se um aumento da manose e a introdução de sacarose, o que sugere transformações químicas complexas (Castro et al., 2022; Q. Li et al., 2016)

A presença de sacarose apenas após a torragem é interessante e pode sugerir que os açúcares menores se estão a combinar ou a ser transformados em sacarose sob temperaturas elevadas (Ma et al., 2014). De acordo com a literatura disponível, o aumento da sacarose pode ser atribuído à degradação térmica ou enzimática (Castro et al., 2022; P. Correia et al., 2009; P. R. Correia et al., 2009).

Como esperado, estes tratamentos provocaram diferenças significativas no teor de açúcares, tendo-se registado diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre as amostras analisadas. O processo de remoção dos taninos para obtenção da farinha de bolota diferiu no teor de açúcares, com um maior aumento dos dissacáridos. A sacarose aumentou com a temperatura (farinha de bolota torrada e branqueada), provavelmente devido à degradação térmica e enzimática, como referido anteriormente e citado na literatura (P. Correia et al., 2009).

Cada tratamento teve um impacto diferente no teor de açúcar das amostras. O processo de escaldagem originou um aumento da quantidade de açúcares simples, enquanto a torragem resultou na formação de açúcares mais complexos, a formação de sacarose, o surgimento da sacarose é resultado da degradação e quebra de ligações em açúcares de reserva constituídos por polissacarídeos como o amido e a celulose. Estes resultados são úteis para otimizar os processos alimentares, a fim de determinar e quantificar o teor específico de açúcar.

3.1.4. Teor de compostos fenólicos totais (TFT)

A figura 10 mostra o conteúdo fenólico total dos extratos nos diferentes tratamentos e da farinha de bolota do grupo de controlo. Os resultados mostraram que o TFT dos extratos diferiam significativamente em função do tratamento aplicado. O TFT para as amostras de farinha de bolota não tratadas, como esperado, obteve um teor mais elevado de compostos fenólicos ($125,5 \pm 3,6$ mg/g), enquanto as amostras de farinha de bolota escaldada apresentaram o teor mais baixo de compostos fenólicos com o valor de $63,1 \pm 10,7$ mg/g.

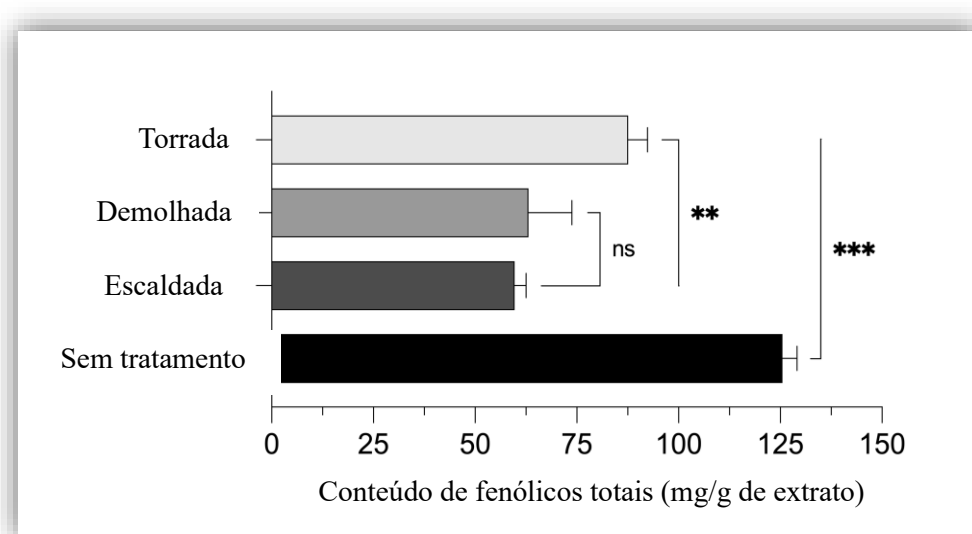


Figura 10. Conteúdo fenólico total do extrato de bolota.

A diminuição do teor de compostos fenólicos no extrato das farinhas de bolota após exposição ao calor e à ebulição pode ser atribuída a vários mecanismos. Os compostos fenólicos são frequentemente sensíveis ao calor e podem sofrer degradação térmica quando expostos a temperaturas elevadas. Este processo envolve a clivagem de ligações químicas dentro da estrutura fenólica, levando à formação de compostos mais simples ou produtos de degradação (Chaaban et al., 2017).

Outro ponto é que a ebulição em água pode causar a dissolução de compostos fenólicos na fase líquida circundante. Este fenômeno é particularmente significativo para os fenólicos solúveis em água, que podem migrar facilmente da matriz sólida para o meio aquoso. Consequentemente, a ebulição prolongada pode levar a uma diminuição significativa no teor total de fenólicos (Xu et al., 2014). A exposição de produtos naturais

a vários tratamentos provoca algumas alterações não só nos compostos fenólicos, mas também em outros macro ou micronutrientes. Os compostos fenólicos podem formar complexos com outros componentes presentes na matriz do produto natural, como proteínas ou hidratos de carbono (Aylanc et al., 2023). O aquecimento ou ebulição podem perturbar estes complexos, causando a liberação ou degradação de compostos fenólicos ligados dentro deles. Isso pode resultar em uma diminuição no teor de fenólicos medidos do extrato de bolota.

3.1.5. Análise LC/DAD/ESI-MSⁿ

A análise do perfil cromatográfico permitiu identificar e quantificar os compostos bioativos nas amostras de farinha. Os compostos foram identificados através dos tempos de retenção, do comprimento de onda máximo de absorção no espectro UV-Vis, dos iões desprotonados e do padrão de fragmentação. No total, foram identificados treze compostos, incluindo um ácido fenólico e onze taninos, tabela 9, onde se incluem, o ácido gálico (1, m/z 169), glucósido de digaloílo (2, m/z 483), glucósido de galoíl-hexahidroxidifenoílo (HHDP) (3, m/z 633), pedunculano (4, m/z 783), hexóxido de digaloíl-HHDP (5, m/z 785), glucósido de galoíl-bis-HHDP (6, m/z 935), glucósido de trigaloílo (7, m/z 635), hexosídeo de ácido elágico (8, m/z 463), glucósido de trigaloíl-HHDP (9, m/z 937), glucósido de tetragaloílo (10, m/z 787), pentósido do ácido elágico (11, m/z 433), pentósido de ácido metil-elágico (12, m/z 447), ácido elágico (13, m/z 301). O ácido gálico (m/z 169) foi o composto detetado em maior quantidade em todas as amostras avaliadas. Este composto é descrito como tendo fortes propriedades antioxidantes, bem como propriedades antidiabéticas, antimicrobianas e anticancerígenas (Ertan et al., 2024). Graças às características deste composto, é aplicado na indústria alimentar como agente antimicrobiano, agente de manutenção de alimentos frescos, estabilizador de óleo, material ativo para embalagens de alimentos e estabilizador de processamento de alimentos (Xiang et al., 2024).

Os resultados revelaram que quase todos os compostos bioativos permaneceram presentes após todos os tratamentos, no entanto, houve reduções significativas na concentração de compostos individuais. Por exemplo, as quantidades de hexóxido de digaloíl-HHDP (m/z 785) e glucósido de tetragaloílo (m/z 787) apresentaram reduções notáveis após os tratamentos. Isto poderia ser atribuído à degradação de compostos

bioativos a altas temperaturas, a sua complexação com outros compostos ou mudanças dependendo do solvente, como foi explicado anteriormente. Além disso, os resultados cromatográficos são consistentes com os resultados do TFT. Lemos et al. (Lemos et al., 2012) demonstrou que a torragem diminuiu significativamente os compostos fenólicos em extratos de frutos secos. Da mesma forma, outro estudo relatou reduções significativas tanto no conteúdo fenólico total (de 3,0 a 22,2 mg GAE/100 g) quanto nas concentrações de compostos bioativos individuais (como ácido gálico, quercetina e naringenina) após ferver o aipo (Salamatullah et al., 2021).

Figura 11 representa graficamente os picos de compostos fenólicos presentes na farinha sem tratamento.

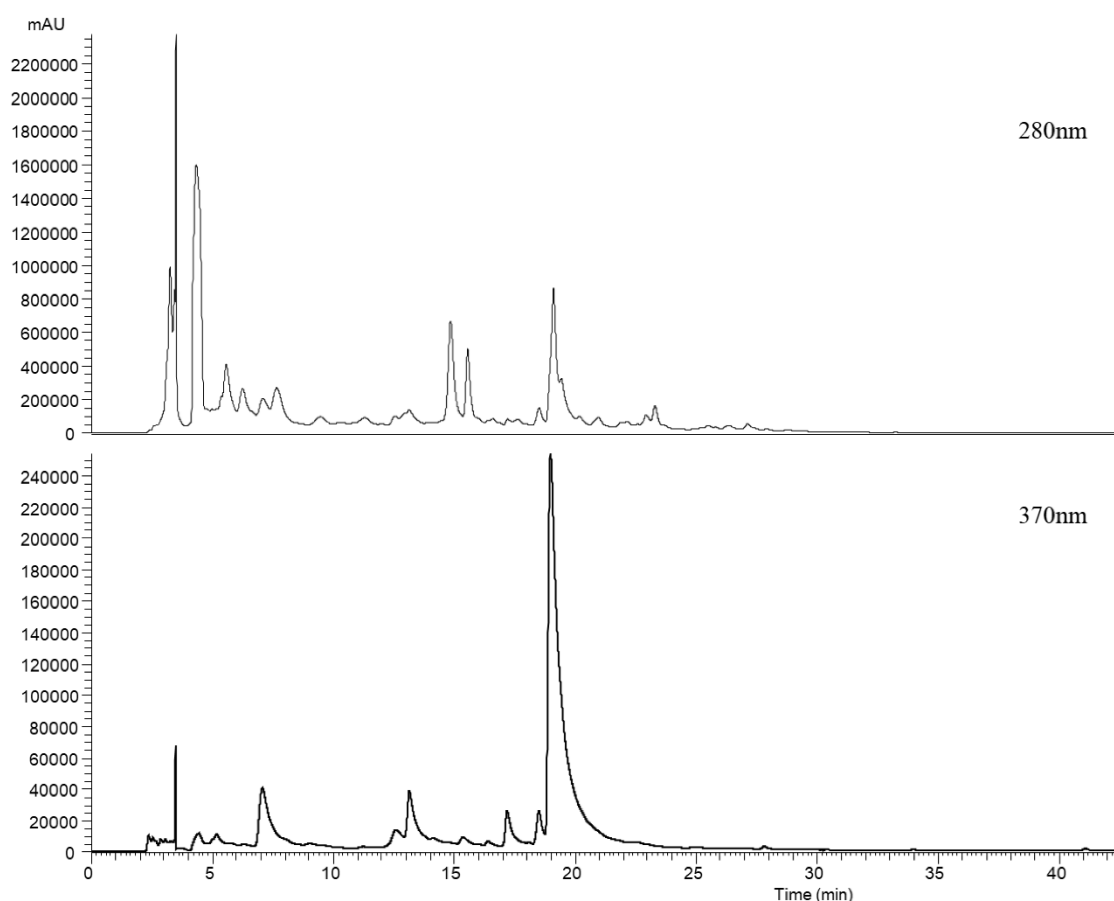


Figura 11. Picos dos compostos fenólicos presentes na farinha sem tratamento.

Tabela 9. Compostos bioativos em farinhas de bolota.

Pico	Rt (min)	λ_{max} (nm)	[M-H] ⁻ m/z	MS ² (m/z)	Compostos identificados	Sem tratamento	Demolhada	Escaldada	Torrada
1	4.32	270	169	125 (100)	Ácido Gálico	23,39 ± 0,59	20,06 ± 0,46	16,74 ± 0,22	16,67 ± 0,31
2	5.58	270	483	331 (41), 313 (25), 169 (30)	Glucósido de digaloflo	1,98 ± 0,01	0,89 ± 0,05	1,81 ± 0,04	1,67 ± 0,03
3	6.25	278	633	301 (100)	Glucósido de Galofl- hexahidroxidifenofo (HHDP)	1,72 ± 0,05	1,12 ± 0,05	1,27 ± 0,03	2,34 ± 0,05
4	7.06	280	783	481 (9), 301 (33)	Pedunculano (Glicósido de bis-HHDP)	1,50 ± 0,00	1,32 ± 0,00	1,31 ± 0,00	1,37 ± 0,00
5	7.68	271	785	615 (11), 463 (3), 301 (46)	Hexóxido de digalofl-HHDP	2,62 ± 0,07	1,50 ± 0,05	1,97 ± 0,03	2,04 ± 0,02
6	9.44	273	935	633 (15), 301 (18)	Glucósido de galofl-bis-HHDP	1,07 ± 0,04	-	-	-
7	12.51	283	635	465 (21), 301 (31), 169 (100)	Glucósido de trigaloflo	1,26 ± 0,00	1,32 ± 0,00	1,33 ± 0,00	1,25 ± 0,02
8	13.14	361	463	301 (100)	Héxosido de ácido elágico	1,40 ± 0,00	1,28 ± 0,00	1,30 ± 0,00	1,30 ± 0,03
9	14.86	278	937	637 (15), 467 (2), 301 (4)	Glucósido de trigalofl-HHDP	7,09 ± 0,06	4,25 ± 0,04	6,09 ± 0,01	8,48 ± 0,39
10	15.55	278	787	635 (28), 617 (31), 483 (84), 465 (100), 447 (6), 423 (73)	Glucósido de tetragaloflo	4,92 ± 0,04	0,96 ± 0,05	1,34 ± 0,06	2,26 ± 0,04
11	17.22	361	433	301 (100)	Pentósido de ácido elágico pentósido	1,33 ± 0,00	1,28 ± 0,00	1,31 ± 0,00	1,26 ± 0,00
12	18.51	359	447	301 (100)	Pentósido de ácido metilelágico	1,30 ± 0,00	1,26 ± 0,00	1,25 ± 0,00	1,23 ± 0,00
13	19.11	362	301	135 (100)	Ácido Elágico	3,62 ± 0,01	3,28 ± 0,01	3,05 ± 0,01	2,94 ± 0,02
Total de compostos bioativos						53,20 ± 0,59	38,52 ± 0,71	38,77 ± 0,41	42,81 ± 0,86

Resultados expressos em mg/g de extrato.

3.2. Resultados das panquecas

3.2.1. Análises nutricionais

A tabela 10 apresenta os resultados da composição nutricional das panquecas de bolota. Ao analisar a tabela, verifica-se que com o aumento da percentagem de farinha de bolota, os valores dos parâmetros nutricionais vão variando. Em geral, as panquecas 100%, apresentam o maior teor de proteínas, lípidos, fibras e cinzas em comparação com as restantes amostras de panquecas. Isto indica que a adição de farinha de bolota teve um efeito significativo nas panquecas de bolota e, nalguns casos, isto resultou em diferenças estatisticamente significativas.

Tabela 10. Valores nutricionais das panquecas sem glúten em várias percentagens de farinha de bolota (g/100g).

	Panqueca 0%	Panqueca 50%	Panqueca 75%	Panqueca 100%
Cinzas	3,96 ± 0,4 ^d	4,87 ± 0,2 ^{cd}	4,87 ± 0,2 ^{bc}	5,26 ± 0,2 ^{ab}
Lípidos	0,05 ± 0,00 ^{ba}	0,04 ± 0,01 ^{cb}	0,05 ± 0,00 ^{ac}	0,07 ± 0,00 ^a
Proteínas	14,48 ± 0,95 ^a	14,69 ± 0,59 ^a	14,81 ± 0,67 ^a	15,50 ± 0,41 ^a
Fibras	15,15 ± 7,00 ^a	17,13 ± 15,03 ^a	19,42 ± 12,08 ^a	21,18 ± 4,09 ^a
Hidratos de carbono	65,3 ± 0,17 ^a	63,5 ± 0,70 ^b	61,0 ± 0,77 ^c	49,30 ± 0,85 ^d
Valor energético (Kcal)	354,10 ± 1,74 ^a	347,78 ± 0,30 ^b	341,98 ± 0,85 ^c	298,15 ± 0,00 ^d

Os valores para o valor energético são expressos em kcal/100 g, enquanto os valores para o resto são expressos em g/100 g. Cada valor é a média DP, n = 3. Em cada coluna, diferentes letras sobrescritas significam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Ao contrário das panquecas 0%, obteve-se um teor mais elevado de hidratos de carbono e valor energético e mais baixo de lípidos, proteínas, cinzas e fibras. Todas as panquecas apresentaram valores semelhantes no teor de proteínas, variando de 14,48 g/100g (0% bolota) a 15,50 g/100g (100% bolota), não apresentando diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$). A farinha de bolota (6,52 g/100g) teve um maior teor proteico do que a farinha de arroz (4,08 g/100g), no entanto, o conteúdo proteico das panquecas é mais influenciado por ingredientes ricos em proteínas como o ovo (47,27 g/100g) e o leite em pó (33,64 g/100g). No entanto, a substituição de farinha de arroz por bolota traz um ligeiro aumento nas proteínas das panquecas, o que pode ser vantajoso para os consumidores que procuram aumentar a ingestão de proteínas em dietas sem

glúten. Contudo, o teor de proteínas tem impacto na textura ou no perfil sensorial, no entanto, como o aumento é pequeno, o impacto não será expressivo (Ritzoulis & Karayannakidis, 2015).

O teor de cinzas aumentou gradualmente de 3,96 g/100g na panqueca 0% para 5,26 g/100g na panqueca a 100%. Este aumento reflete um maior teor de minerais nas panquecas com o aumento da percentagem de farinha de bolota (Pomeranz & Meloan, 1994). Observando a tabela nutricional da matriz das panquecas, tabela 11, verifica-se que a farinha de bolota contém mais cinzas (1,16 g/100g) do que a farinha de arroz (0,45 g/100g), indicando uma maior concentração de minerais. Os ingredientes como o fermento (49,03 g/100g) e o leite em pó (7,53 g/100g) também demonstraram ser ricos em cinzas contribuindo para o aumento do conteúdo mineral. O aumento de minerais na alimentação é benéfico no ponto de vista nutricional, uma vez que minerais desempenham papéis essenciais na saúde, como no fortalecimento ósseo e no funcionamento muscular (Palacios, 2006). Portanto, a farinha de bolota enriquece as panquecas com mais minerais.

O teor de lípidos encontrado foi baixo em todas as panquecas, variando de 0,04 g/100g a 0,07 g/100g, com um ligeiro aumento nas panquecas 100%. Observando a tabela nutricional da matriz das panquecas, tabela 11, a farinha de bolota apresenta um conteúdo lipídico ligeiramente superior (0,04 g/100g) em comparação à farinha de arroz (0,02 g/100g), o que explica o pequeno aumento nas panquecas com mais farinha de bolota. Entretanto, outros ingredientes, como o ovo (0,39 g/100g), também contribuem para o aumento do teor lipídico, mas em menor quantidade. O aumento que se obteve nas panquecas a 100% é mínimo em comparação com as restantes panquecas, não impactando significativamente o valor calórico das panquecas. No entanto, pequenas variações de lípidos podem afetar levemente a textura e a maciez das panquecas (Zhong et al., 2014).

O valor das fibras aumentou progressivamente, com o aumento da farinha de bolota, de 15,15 g/100g na panqueca 0% para 21,18 g/100g na panqueca 100%. A farinha de bolota é muito rica em fibras (37,3 g/100g) em comparação com a farinha de arroz (12,64 g/100g), o que explica o aumento de teor de fibras nas panquecas com maior percentagem de bolota. Este aumento é significativo e traz benefícios para a saúde digestiva, pois fibras alimentares auxiliam no trânsito intestinal e no controle glicémico (Goff et al., 2018). As panquecas com mais farinha de bolota tornam-se uma opção mais interessante para consumidores que procuram aumentar a ingestão de fibras. No entanto,

um teor elevado de fibras também pode alterar a textura das panquecas, tornando-as potencialmente mais densas e menos fofas (Vinci, 2001).

Observando o teor de hidratos de carbono, verifica-se que este diminui consideravelmente de 65,35 g/100g na panqueca 0% para 49,30 g/100g na panqueca 100%. A farinha de arroz conteve um alto teor de hidratos (88,80 g/100g), enquanto a farinha de bolota possuiu um menor teor (57,4 g/100g), o que explica a redução deste macronutriente nas panquecas com maior percentagem de bolota. A redução de hidratos de carbono nas panquecas com maior proporção de bolota é vantajosa para quem quer reduzir o índice glicémico de alimentos ou reduzir a carga glicémica em dietas controladas (Liu et al., 2012). Sendo que a presença de mais fibras também contribui para uma liberação mais lenta de glicose no organismo, proporcionando maior saciedade (Wu et al., 2023).

O valor energético diminui de 354,10 kcal na panqueca 0% para 298,15 kcal na panqueca 100%. Esta redução está relacionada principalmente à menor quantidade de hidratos de carbono e ao aumento de fibras nas panquecas com maior percentagem de farinha de bolota. A diminuição do valor calórico é um aspeto positivo para consumidores mais preocupados no consumo de produtos com menos calorias e com maior teor de fibras (Norton et al., 2024). As panquecas com maior teor de farinha de bolota podem ser uma opção para dietas de perda de peso ou para o controlo calórico, sem comprometer o valor nutricional ingerido.

A utilização de diferentes percentagens de farinha de bolota resultou em diferenças significativas no teor de cinzas e lípidos. Contudo, outros parâmetros, como o teor de fibras, proteínas e hidratos de carbono, não apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$).

Tabela 11. Valores nutricionais da matriz das panquecas sem glúten em várias percentagens de farinha de bolota (g/100g).

	Farinha de arroz	Farinha de bolota	Fermento	Leite em pó	Ovo
Cinzas	0,45 ± 0,1	1,16 ± 0,2	49,03 ± 0,1	7,53 ± 1,4	3,68 ± 0,1
Lípidos	0,02 ± 0,01	0,04 ± 0,00	0,07 ± 0,11	0,01 ± 0,00	0,39 ± 0,02
Proteínas	4,08 ± 0,07	6,52 ± 0,16	-	33,64 ± 0,27	47,27 ± 0,39
Fibras	12,64 ± 4,78	37,3 ± 0,75	2,19 ± 3,97	-	-
Hidratos de carbono	88,80 ± 7,04	57,4 ± 0,07	48,71 ± 0,12	58,82 ± 1,26	48,67 ± 0,45

Ao comparar as panquecas analisadas com panquecas comerciais, tabela 12, verifica-se que as panquecas analisadas em diferentes percentagens de farinha de bolota e arroz apresentam um teor de lipídico e hidratos, muito mais baixo, já nas fibras e proteínas apresenta valores mais altos. Nos hidratos de carbono, as panquecas com 50% e 75% aproximam-se do teor de hidratos das panquecas comerciais.

Assim sendo, as panquecas com 100% farinha de bolota demonstraram ser mais vantajosas a nível nutricional em comparação com as restantes percentagens analisadas. Comparando assim esta formulação as panquecas comerciais, tabela 12, observa-se que as panquecas com 100% farinha de bolota, são uma opção com menor teor de lipídico, oferecendo um conteúdo proteico superior, e também maior teor em fibras, tornando-as benéficas para a saúde digestiva e menos hidratos de carbono e valor energético, sendo então classificada de mais vantajosas as panquecas de farinha de bolota do que as comerciais.

Tabela 12. Valores nutricionais de panquecas sem glúten comerciais.

Lípidos	Proteínas	Fibra	Hidratos de carbono	Valor energético
(g/100g)	(g/100g)	(g/100g)	(g/100g)	(Kcal)
7	12	8	58	359

Composição das panquecas comerciais: Farinha de aveia isenta de glúten, trigo sarraceno moído, farinha de arroz integral, teff moído, sementes de linhaça moída, amido de tapioca, tâmara em pó, fermento em pó (fosfato monocalcico e bicarbonato de sódio) e amido de milho.

3.2.2. Perfil de ácidos gordos

Na tabela 13, são apresentados os resultados obtidos nas análises dos ácidos gordos presentes nas amostras de panquecas analisadas. As amostras analisadas apresentaram ácidos gordos saturados, incluindo o ácido cáprico, láurico, mirístico, pentadecanoico, palmítico, heptadecanoico, esteárico, araquídico, behénico, tricosanoico e lignocérico, ácidos gordos monoinsaturados, como os ácidos palmitoleico, oleico (*cis*), elaídico (*trans*), eicosenóico e nervônico e os ácidos gordos polinsaturados incluindo os ácidos linoleico (*cis* e *trans*), γ -linolénico, α -linolénico e dihomo- γ -linolénico.

A redução dos ácidos gordos saturados com o aumento da percentagem de farinha de bolota é notável em alguns compostos como o ácido láurico, mirístico e heptadecanoico. Isso sugere que a farinha de bolota possui menor teor em certos ácidos gordos saturados, sendo possível verificar na tabela 14 que é o ingrediente nas panquecas com menor teor de ácido láurico e mirístico.

O ácido palmítico (C16:0), é o ácido gordo saturado mais abundante nas amostras, mantendo-se relativamente estável em todas elas, com valores entre 19,87% e 20,31%. Isto sugere que este ácido gordo provém de ambos os ingredientes, tanto da farinha de arroz como da de bolota, em proporções semelhantes. Já o ácido esteárico (C18:0), embora o valor obtido seja semelhante entre as panquecas de 0% e 100% de farinha de bolota (6,22% - 6,06%), há uma ligeira diminuição nas panquecas a 50% e 75%. Essa variação pode estar associada à menor presença desse ácido gordo nas bolotas.

Tabela 13. Perfil de ácidos gordos das panquecas sem glúten.

Compostos identificados	Panqueca 0%	Panqueca 50%	Panqueca 75%	Panqueca 100%
Ácido cáprico	0,16 ± 0,01	0,24 ± 0,00	-	-
Ácido láurico	0,44 ± 0,09	0,35 ± 0,01	0,23 ± 0,11	0,13 ± 0,02
Ácido mirístico	1,18 ± 0,07	0,43 ± 0,04	0,82 ± 0,24	0,64 ± 0,11
Ácido pentadecanoico	0,20 ± 0,09	0,13 ± 0,04	0,17 ± 0,02	0,14 ± 0,05
Ácido palmítico	19,87 ± 0,1	20,19 ± 0,78	20,05 ± 0,85	20,31 ± 0,23
Ácido palmitoleico	3,58 ± 0,07	3,20 ± 0,18	3,07 ± 0,07	3,13 ± 0,05
Ácido heptadecanoico	0,69 ± 0,10	0,52 ± 0,10	0,67 ± 0,31	0,44 ± 0,02
Ácido esteárico	6,22 ± 0,21	5,83 ± 0,03	5,69 ± 0,13	6,06 ± 0,09
Ácido elaídico (trans)	1,07 ± 0,06	0,89 ± 0,34	0,22 ± 0,00	0,57 ± 0,10
Ácido oleico (cis)	34,56 ± 0,34	39,18 ± 1,20	40,08 ± 0,30	42,56 ± 0,16
Ácido linoleico trans	0,19 ± 0,05	0,22 ± 0,10	0,26 ± 0,07	0,18 ± 0,00
Ácido linoleico (cis)	15,90 ± 0,05	20,11 ± 0,34	20,59 ± 0,73	17,49 ± 0,14
Ácido γ -linolênico	0,28 ± 0,02	0,23 ± 0,11	-	0,27 ± 0,04
Ácido α -linolênico	1,46 ± 0,30	1,45 ± 0,21	1,51 ± 0,13	1,23 ± 0,08
Ácido araquídico	6,62 ± 0,37	-	-	0,94 ± 0,25
Ácido eicosenóico	0,48 ± 0,07	1,28 ± 0,44	1,95 ± 0,61	0,60 ± 0,03
Ácido dihomo- γ -linolênico	0,47 ± 0,08	0,38 ± 0,09	0,37 ± 0,08	0,30 ± 0,03
Ácido eicosatrienoico	3,69 ± 0,10	3,79 ± 0,50	3,51 ± 0,10	3,74 ± 0,06
Ácido behênico	0,14 ± 0,03	0,00 ± 0,00	0,24 ± 0,01	0,26 ± 0,00
Ácido docosadienoico	-	0,28 ± 0,02	-	-
Ácido tricosanoico	-	0,09 ± 0,01	-	0,16 ± 0,00
Ácido lignocérico	1,65 ± 0,54	0,13 ± 0,02	-	0,20 ± 0,00
Ácido nervônico	0,67 ± 0,04	0,55 ± 0,01	0,58 ± 0,10	0,65 ± 0,02

Os valores são expressos em percentagem relativa (R%).

Observa-se que o ácido gordo monoinsaturado ácido oleico (cis) (C18:1), possui elevada concentração em todas as panquecas, sendo este o ácido gordo maioritário em todas as amostras. A medida que a farinha de bolota aumenta, é possível verificar um aumento significativo deste ácido gordo, sendo que nas panquecas a 0% apresenta 34,56% e nas panquecas a 100% de 42,56%. Observando a tabela 14, resultante da análise à matriz das panquecas, verifica-se que a farinha de bolota possui este ácido gordo como maioritário na sua composição, assim sendo, pode dizer-se que este resultado era esperado, uma vez que a farinha de bolota possui 45,56% desse ácido gordo, dando assim um perfil lipídico mais saudável e desejável, já que o aumento deste ácido gordo é um dos pontos positivos, dado que o ácido oleico está associado a benefícios cardiovasculares (Shramko et al., 2020).

Já o ácido gordo insaturado maioritário foi o ácido linoleico (cis) (C18:2), tendo-se verificado um aumento com o aumento da percentagem de farinha de bolota, sendo que o valor maior foi encontrado nas panquecas a 75% com 20,59%, enquanto nas panquecas a 100% verificou-se um valor de 17,49%. Este comportamento pode estar relacionado com a combinação complexa dos ingredientes na matriz das panquecas, onde o equilíbrio entre as fontes pode influenciar a biodisponibilidade e a proporção destes ácidos gordos (Huppertz et al., 2024).

O ácido gordo, ácido elaídico (trans) (C18:1), em contraste, diminui drasticamente com o aumento da farinha de bolota, de 1,07% (0%) para 0,57% (100%), o que é positivo, já que estes ácidos gordos são frequentemente associados a riscos de saúde, nomeadamente a riscos cardiovasculares, ajudando a melhorar o perfil nutricional das panquecas (Pipoyan et al., 2021).

Ao analisar o ácido cáprico nas panquecas, verifica-se uma diminuição com o aumento da farinha de bolota, o que está relacionado à ausência deste ácido gordo na farinha de bolota. Essa característica é interessante do ponto de vista nutricional, pois permite uma redução nos ácidos gordos saturados de cadeia curta, dando às panquecas de farinha de bolota um perfil mais saudável no que diz respeito ao seu perfil lipídico dos ácidos gordos insaturados.

Tabela 14. Perfil de ácidos gordos da matriz das panquecas sem glúten.

Compostos identificados	Farinha de arroz	Farinha de bolota	Fermento	Leite em pó	Ovo
Ácido caprílico	-	-	-	1,07 ± 0,01	-
Ácido cáprico	0,58 ± 0,39	-	1,05 ± 0,06	3,56 ± 0,19	-
Ácido undecanoico	-	-	-	0,97 ± 0,00	-
Ácido láurico	0,16 ± 0,03	-	3,48 ± 0,34	3,23 ± 0,44	-
Ácido tridecanoico	-	-	-	0,61 ± 0,47	-
Ácido mirístico	0,81 ± 0,01	0,20 ± 0,00	2,55 ± 0,66	8,77 ± 0,16	0,56 ± 0,06
Ácido pentadecanoico	0,17 ± 0,01	0,18 ± 0,02	2,51 ± 0,08	1,86 ± 0,01	-
Ácido palmítico	13,88 ± 0,15	14,49 ± 0,20	9,95 ± 0,36	27,57 ± 0,09	22,84 ± 0,06
Ácido palmitoleico	0,52 ± 0,06	0,79 ± 0,05	1,06 ± 0,0	3,41 ± 0,04	4,16 ± 0,06
Ácido heptadecanoico	0,53 ± 0,13	0,85 ± 0,75	-	1,03 ± 0,11	0,56 ± 0,01
Ácido esteárico	2,60 ± 0,23	-	39,12 ± 0,01	10,34 ± 0,45	-
Ácido elaídico (trans)	0,32 ± 0,05	2,43 ± 0,46	-	-	9,07 ± 0,03
Ácido oleico (cis)	23,40 ± 0,51	45,56 ± 0,29	17,29 ± 0,09	22,26 ± 0,30	45,26 ± 0,27
Ácido linoleico (trans)	0,45 ± 0,04	0,27 ± 0,07	-	0,70 ± 0,10	-
Ácido linoleico (cis)	21,45 ± 0,54	29,48 ± 0,05	9,73 ± 0,25	6,36 ± 0,06	8,58 ± 0,04
Ácido γ -linolênico	-	0,48 ± 0,01	-	-	0,23 ± 0,05
Ácido α -linolênico	2,12 ± 0,09	2,22 ± 0,002	1,18 ± 0,48	1,22 ± 0,01	0,56 ± 0,00
Ácido araquídico	1,75 ± 0,11	-	-	-	-
Ácido eicosenóico	1,73 ± 0,52	1,55 ± 0,03	2,91 ± 0,09	2,74 ± 1,40	0,92 ± 0,26
Ácido dihomo- γ -linolênico	1,00 ± 0,06	0,25 ± 0,05	-	-	0,25 ± 0,01
Ácido eicosadienoico	1,49 ± 0,54	0,49 ± 0,02	1,37 ± 1,48	-	5,74 ± 0,00
Ácido behênico	8,64 ± 0,76	0,86 ± 0,05	-	1,97 ± 0,12	-
Ácido eicosapentaenoico	1,28 ± 0,23	-	-	-	-
Ácido docosadienoico	-	-	2,69 ± 0,65	-	-
Ácidotricosanoico	3,59 ± 0,29	0,15 ± 0,02	0,31 ± 0,01	1,45 ± 1,53	-
Ácido lignocérico	12,13 ± 0,29	0,32 ± 0,03	3,71 ± 3,19	0,90 ± 0,73	-
Ácido nervônico	1,23 ± 0,42	-	1,50 ± 0,46	-	1,30 ± 0,04

Os valores são expressos em percentagem relativa (R%).

3.2.3. Açúcares solúveis

Os gráficos representados na figura 12 mostram o conteúdo em açúcares presentes nas panquecas. A análise dos açúcares com diferentes percentagens de farinha de bolota (0%, 50%, 75% e 100%) revela variações significativas nos teores de frutose, glicose, sacarose, maltose e melizitose, que podem ser explicadas pela presença e concentração dos açúcares nos ingredientes utilizados para a sua formulação. No entanto, a sacarose só foi detetada nas panquecas com 100% de farinha de bolota e melizitose nas panquecas de 0% e 50% de farinha de bolota. A maltose e a frutose foram os açúcares mais abundantes nas amostras, enquanto a manose foi o açúcar mais predominante em todas as amostras.

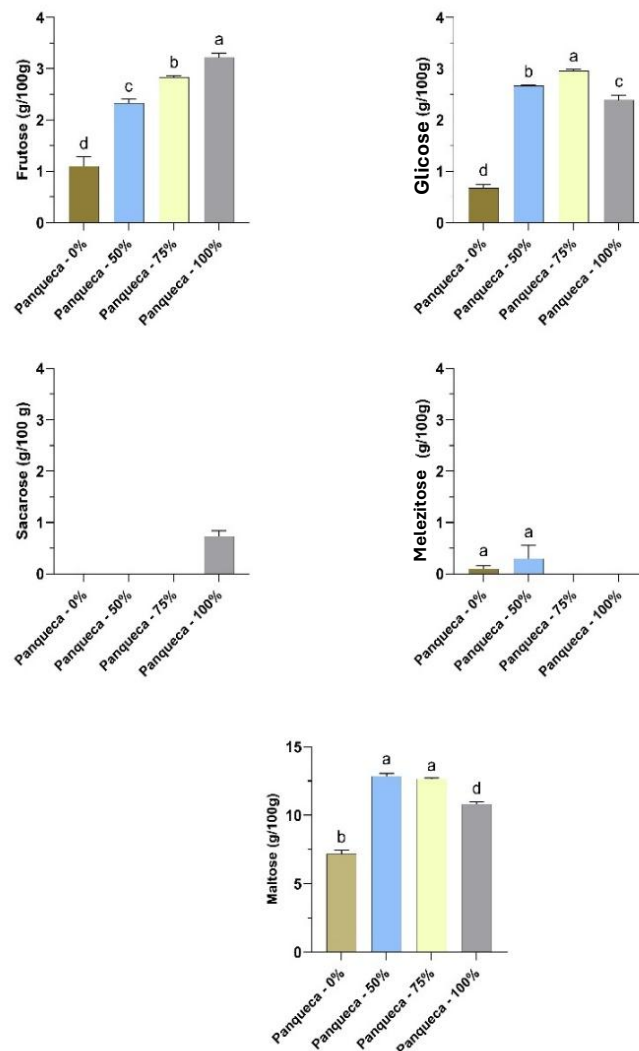


Figura 12. Perfis de açúcares solúveis das panquecas sem glúten em várias percentagens de farinha de bolota.

Valores são expressos em mg/g

Cada valor é a média DP, n = 3. Em cada barra, diferentes letras sobscritas significam diferenças estiticamente significativas ($p < 0,05$).

Os níveis de frutose aumentaram significativamente à medida que o teor de farinha de bolota aumentou, sendo que a panqueca 100% apresentando o maior valor (3,22 g/100g). Observando a tabela 15 verifica-se que a farinha de bolota é o ingrediente utilizado que apresenta o teor mais alto de frutose (6,14 g/100g), afirmando assim que a farinha de bolota é a principal fonte de frutose das panquecas, justificando o aumento progressivo com a substituição parcial ou total da farinha de arroz por farinha de bolota.

Tabela 15. Perfis de açúcares solúveis na matriz das panquecas sem glúten em várias percentagens de farinha de bolota.

	Frutose	Glicose	Sacarose	Maltose	Melitose
Farinha de arroz	-	-	-	-	0,15 ± 0,12
Farinha de bolota	6,14 ± 1,35	-	1,64 ± 0,44	-	-
Fermento	-	-	-	-	-
Leite em pó	-	-	-	45,81 ± 2,15	-
Ovo	0,5 ± 0,04	0,63 ± 0,07	-	-	-

Valores são expressos em g/100g

Cada valor é a média DP, n = 3. Em cada coluna, diferentes letras sobrescritas significam diferenças estatisticamente significativas (p < 0,05).

Assim como a frutose, o teor de glicose também aumentou conforme o aumento da percentagem de farinha de bolota nas panquecas, sendo que a panqueca de 0% apresentou o menor teor de glicose (0,68 g/100g). Embora a farinha de bolota utilizada isoladamente não contenha glicose, de acordo com a tabela 15, o aumento deste açúcar, pode estar relacionado a processos de hidrólise parcial de outros açúcares complexos durante o processamento e cozimento das panquecas fazendo com que liberte glicose (Björck & Asp, 1994; Parada & Aguilera, 2011).

Já as panquecas a 100% foram as únicas panquecas onde foi detectado sacarose, embora tenha sido em baixas quantidades, a presença deste açúcar pode ser atribuída à própria farinha de bolota, pois contém 1,64 g/100g de sacarose, nas panquecas com percentuais menores de farinha de bolota. A quantidade de sacarose ficou abaixo do limite de detecção, ou foi metabolizada durante o processamento (W. Li et al., 2021). A sacarose, por ser solúvel em água, pode ser hidrolisada em glicose e frutose, sendo que essas moléculas resultantes podem reagir com aminoácidos livres durante o aquecimento em altas temperaturas, contribuindo para o desenvolvimento de sabores característicos (W. Li et al., 2021).

A maltose apresentou valores significativamente mais elevados nas panquecas com 50% e 75% de farinha de bolota, enquanto a panqueca com 0% apresentou o menor teor e a panqueca com 100% uma redução considerável. De acordo com as análises feitas à matriz das panquecas, a fonte primária de maltose é o leite em pó, contendo 45,81 g/100g de maltose. A redução deste açúcar na panqueca a 100% pode ser devido à exclusão da farinha de arroz havendo uma maior interação com os açúcares e a matriz de farinha de bolota (Zhu, 2015).

A melizitose foi detetada em baixas concentrações, nas panquecas com 0% e 50%, enquanto que, nas panquecas de 75% e 100% não foi encontrada. A concentração deste açúcar é ligeiramente maior nas panquecas 50% em comparação com a de 0%, embora não haja diferenças estatisticamente significativa entre essas duas amostras no conteúdo de melizitose. Na tabela de análise aos açúcares dos ingredientes isolados verifica-se que a melizitose está presente apenas na farinha de arroz, assim sendo, era de esperar um maior teor deste açúcar nas panquecas a 0%, no entanto, as panquecas 50% tiveram um valor maior deste açúcar, isto pode ter um efeito do processamento ou da interação entre a farinha de bolota e os restantes, mas sem aumento significativo à medida que a quantidade de farinha de bolota aumenta para 75% e 100% (BeMiller, 2018; Björck & Asp, 1994).

Como esperado, as panquecas com diferentes percentagens de farinha de bolota provocaram diferenças significativas no teor de açúcares, tendo-se registado diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre as amostras analisadas. O aumento da farinha de bolota nas panquecas diferiu no teor de açúcares, com um maior aumento de dissacáridos. A sacarose aumentou com o aumento da farinha de bolota devido à sua presença deste ingrediente.

As panquecas com diferentes percentagens de farinha de bolota tiveram um impacto diferenciador no teor de açúcar das amostras. As panquecas com 100% farinha de bolota tendeu a aumentar a quantidade de frutose e sacarose. Estes resultados são úteis para mostrar o impacto da farinha de bolota nos alimentos e a sua importância na alimentação.

3.2.4. Bioassessibilidade

3.2.4.1. Açúcares digeridos

O sistema digestivo atua como um processador que transforma os alimentos. Durante a digestão, os amidos e açúcares passam por uma quebra mecânica, através da mastigação, e química, por ação de enzimas, convertendo-se em açúcares simples como glicose, frutose e/ou galactose. Estes açúcares são absorvidos pela corrente sanguínea e distribuídos de modo a fornecer energia ao corpo. A digestão dos amidos começa na boca, mas ocorre principalmente no intestino delgado, onde enzimas específicas produzidas pelo pâncreas, como a amilase e a glucosidase, atuam sobre eles. De maneira semelhante, os dissacarídeos (sacarose, lactose e maltose) são quebrados em açúcares simples por enzimas específicas para cada um, figura 13 (Canadian Sugar Institute, n.d.).

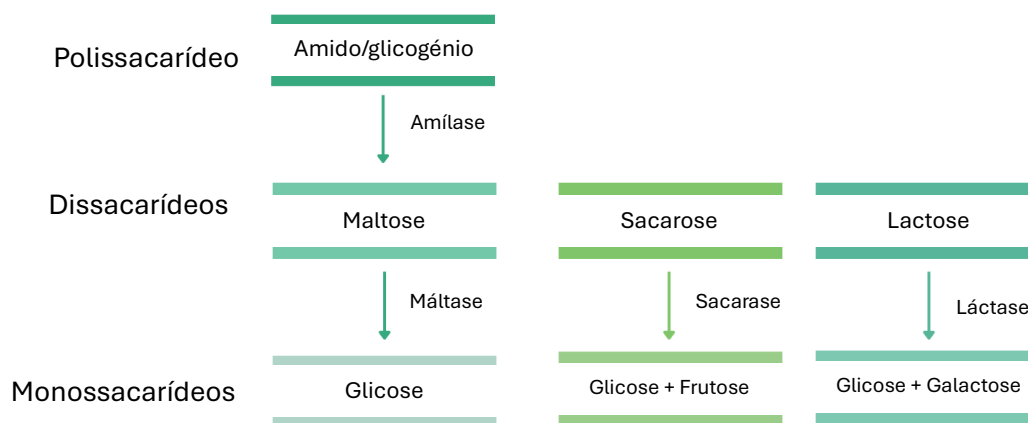


Figura 13. Digestão dos açúcares (Canadian Sugar Institute, n.d.).

Os gráficos apresentados na figura 14 diz respeito aos açúcares digeridos por digestão *in vitro* das panquecas em várias percentagens, neles é possível observar que a concentração de frutose aumentou consoante o aumento da farinha de bolota nas panquecas. Sendo que as panquecas a 100% de farinha de bolota apresentaram maior teor de frutose (24,12 g/100g), enquanto as de 0% de bolota apresentaram um menor valor (17,75 g/100g). Os resultados obtidos, indicam que a adição de farinha de bolota aumenta o teor de frutose. Este aumento pode ser devido à composição natural da farinha de bolota, conter mais frutose ou precursores que liberam frutose após a digestão em comparação com a farinha de arroz, indicando que o processo digestivo potencialmente liberta frutose

a partir de outros compostos presentes na farinha de bolota (como oligossacarídeos ou polissacarídeos) que são hidrolisados durante a digestão simulada (Keim & Havel, 2012). Também pode ser devido à quebra de hidratos de carbono complexos que libertam frutose, o que pode afetar o índice glicémico das panquecas após a digestão (Keim & Havel, 2012; Schved & Hassidov, 2008).

Contrariamente à frutose, a sacarose diminui significativamente à medida que a proporção de farinha de bolota aumenta, sendo mais alta nas panquecas 0% (19,24 g/100g) e mais baixa nas panquecas 100% (12,86 g/100g). Esta diminuição pode ser positiva para reduzir o índice glicémico das panquecas, pois a sacarose é quebrada em glicose e frutose rapidamente no sistema digestivo, contribuindo para picos glicémicos (Lindqvist et al., 2008).

A maltose aumentou com o aumento da percentagem de farinha de bolota nas panquecas, sendo mais elevada nas panquecas a 100% (14,96 g/100g) e mais baixa nas com 0% (13,16 g/100g). A presença de amido na farinha de arroz é possivelmente responsável por esses valores, pois a maltose é um dissacarídeo formado pela digestão do amido (Yahia et al., 2018). Como a farinha de bolota tem menos amido digerível (Castro et al., 2023), contribui para a redução da maltose nas amostras conforme o maior teor de farinha de bolota. Isso pode significar um menor impacto glicémico das panquecas com mais farinha de bolota (Pugh et al., 2023).

Após a digestão, a melizitose é o açúcar presente em menores quantidades, independentemente da proporção de farinha de bolota. A concentração de melizitose é maior nas panquecas com 0% de farinha de bolota (21,79 g/100g) e vai diminuindo à medida que a percentagem de farinha de bolota aumenta, assim sendo, as panquecas com 100% de farinha de bolota (13,00 g/100g) apresentam o menor valor de melizitose entre as amostras.

As diferentes percentagens de farinha de bolota nas panquecas, tiveram um impacto no teor de açúcar das amostras digeridas. A maltose e a melizitose foram os únicos açúcares detetado que não apresentaram diferenças estatisticamente ($p > 0,05$) sensitivamente nas percentagens 50% e 75% para a maltose e nas percentagens 75% e 100% na melizitose, os restantes açúcares apresentaram todos diferenças estatisticamente significativas em todas as percentagens de farinha de bolota para as panquecas ($p \leq 0,05$).

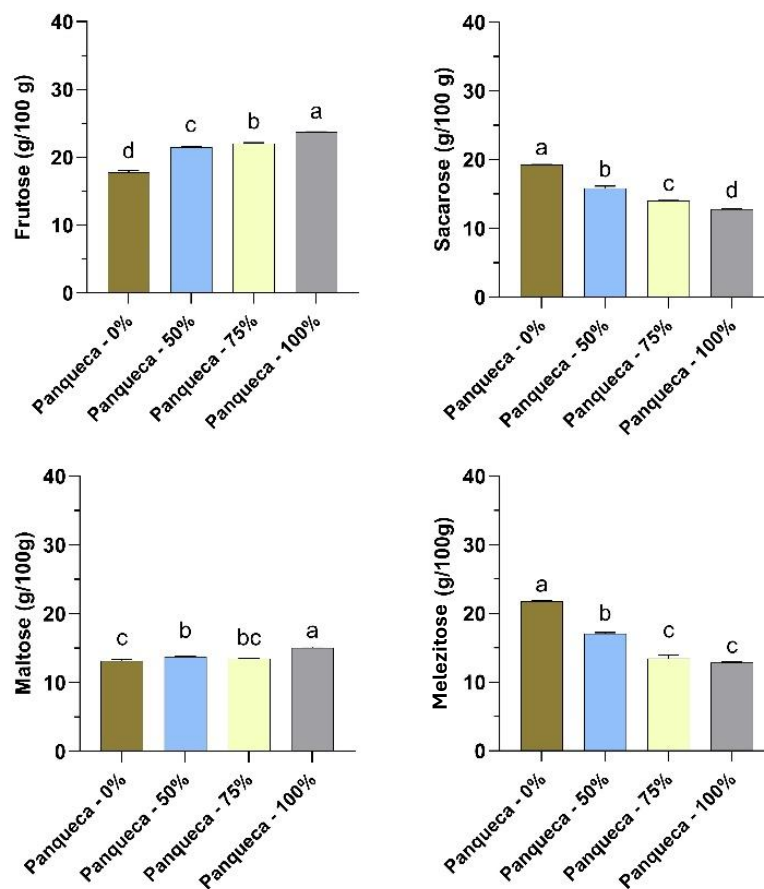


Figura 14. Perfis de açúcares solúveis das panquecas sem glúten em várias percentagens de farinha de bolota digeridas.

Valores são expressos em g/100g

Cada valor é a média DP, n = 3. Em cada barra, diferentes letras sobrescritas significam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Os resultados apresentados não são comparáveis com açúcares não digeridos pois os métodos utilizados para a extração dos açúcares não foram os mesmos.

3.2.4.2. Proteínas

A figura 15 mostra a quantidade de proteínas digeridas em g/100g para as panquecas preparadas com diferentes percentagens de farinha de bolota e arroz. Observa-se que o teor de proteínas digeridas aumenta proporcionalmente com o aumento da farinha de bolota na formulação da panqueca. Os resultados apresentados têm diferenças estatisticamente significativas, sugerindo que a composição influencia significativamente a quantidade de proteínas disponíveis para digestão.

As panquecas 0% apresentam o menor valor de proteínas digeridas, com aproximadamente 0,14 g/100g, isto mostra uma menor biodisponibilidade de proteínas após digestão da farinha de arroz comparado às formulações com farinha de bolota (Carbonaro et al., 2015). Já nas panquecas 50% o valor de proteínas digeridas aumenta para 0,35 g/100g, esta formulação já apresenta um aumento notável, indicando que a adição de farinha de bolota contribui para uma maior liberação de proteínas. A amostra de panquecas a 75% apresenta 1,79 g/100g de proteínas digeridas, indicando um aumento substancial, assim sendo, quanto maior de farinha de bolota a uma melhor disponibilidade proteica, possivelmente devido aos compostos específicos da bolota que facilitam a digestão proteica (Pihlanto & Korhonen, 2003). O valor mais alto de proteínas digeridas nas amostras analisadas foi nas panquecas 100% (2,48 g/100g), assim sendo, pode afirmar-se que a farinha de bolota contribui significativamente para a digestão de proteínas, oferecendo a maior quantidade de proteínas digeríveis entre todas as formulações.

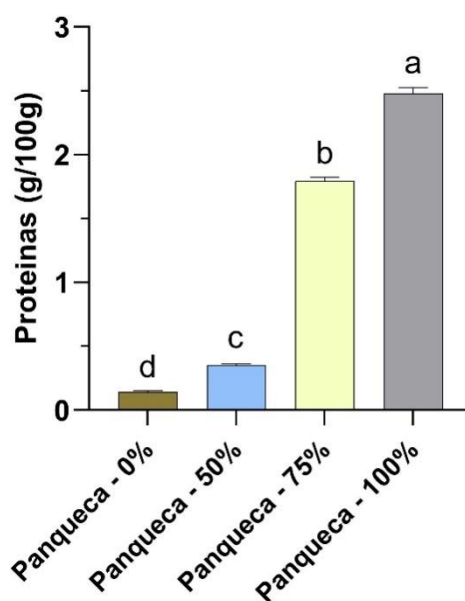


Figura 15. Perfis proteicos das panquecas sem glúten digeridas.

Valores são expressos em g/100g

Cada valor é a média DP, n = 3. Em cada barra, diferentes letras sobrescritas significam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

A tendência observada indica que a farinha de bolota aumenta a quantidade de proteínas disponíveis para digestão, possivelmente devido à sua composição nutricional e à presença de compostos que promovem a digestão ou que aumentam a solubilidade das proteínas. A farinhas de bolota é conhecida por conter compostos bioativos que podem

ajudar na quebra das proteínas durante o processo digestivo, além de apresentarem um perfil de aminoácidos favorável. Em contraste, a farinha de arroz pode ter uma digestibilidade proteica mais limitada devido ao seu baixo teor proteico e menor concentração de aminoácidos essenciais.

Estes resultados podem ser úteis para a formulação de alimentos funcionais sem glúten, onde a inclusão de farinha de bolota aumenta o valor proteico e a digestibilidade, tornando o produto final mais nutritivo (Demirkesen et al., 2010; Granato et al., 2010). Verifica-se também que a substituição da farinha de arroz por farinha de bolota nas panquecas sem glúten pode não apenas alterar a textura e o sabor, mas também aumentar o teor de proteínas digeríveis, sendo vantajoso para consumidores que buscam uma dieta rica em proteínas (Atudorei et al., 2022; Padalino et al., 2013).

As diferentes percentagens de farinha de bolota nas panquecas, tiveram um impacto no teor de proteínas das amostras digeridas, apresentando todas as amostras diferenças estatisticamente significativas ($p \leq 0,05$).

3.2.5. Cor

Na tabela 16, estão apresentados os valores dos parâmetros estudados para a cor, entre eles, a luminosidade da amostra, que é indicada por L^* , onde os valores mais altos representam uma cor mais clara, e valores mais baixos representam uma cor mais escura (Choudhury, 2014). A panqueca com 0% de farinha de bolota apresenta o valor de L^* mais alto (75,26), indicando que é a mais clara de todas as formulações. Com o aumento da percentagem de farinha de bolota (50% a 100%), os valores de L^* diminuem gradualmente indo de 54,19 para 45,72, indicando que as panquecas vão ficando progressivamente mais escuras. Este resultado demonstrou que a farinha de bolota contribui para o escurecimento das panquecas, o que pode estar relacionado aos compostos fenólicos e outras substâncias presentes na bolota, que tendem a escurecer os alimentos (Tuberoso & Orrù, 2008).

Tabela 16. Cor das panquecas sem glúten em várias percentagens de farinha de bolota.

	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
Panqueca 0%	75,26 ± 0,34 ^a	1,18 ± 0,33 ^b	35,33 ± 1,06 ^a
Panqueca 50%	54,19 ± 1,74 ^b	9,24 ± 0,81 ^a	29,85 ± 0,43 ^b
Panqueca 75%	48,45 ± 1,05 ^c	9,04 ± 0,16 ^a	25,38 ± 0,52 ^c
Panqueca 100%	45,72 ± 0,13 ^d	8,67 ± 0,38 ^a	23,36 ± 0,24 ^d

Cada valor é a média DP, n = 3. Em cada coluna, diferentes letras sobrescritas significam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

O valor de *a** representa a tonalidade na escala verde-vermelho, sendo que valores positivos indicam tendência para vermelho (Choudhury, 2014). A panqueca com 0% de farinha de bolota tem o valor mais baixo de *a** (1,18), indicando uma coloração muito leve na escala verde-vermelho. Nas panquecas com farinha de bolota (50%, 75% e 100%), o valor *a** aumenta significativamente, variando entre 8,67 e 9,24, mostrando uma tonalidade mais avermelhada. A adição de farinha de bolota parece intensificar o tom avermelhado das panquecas. Isso pode ser atribuído aos compostos naturais da bolota que conferem uma cor mais intensa, possivelmente pela presença de pigmentos por compostos fenólicos como os carotenoides que são responsáveis por dar uma coloração amarela, vermelha e laranja (Makhlouf et al., 2018; Razola-Díaz et al., 2022).

O valor *b** representa a tonalidade na escala azul-amarelo, com valores positivos indicando uma tonalidade amarelada (Choudhury, 2014). A panqueca com 0% de farinha de bolota apresentou o valor mais alto de *b** (35,33), assinalando uma coloração mais amarelada. À medida que a percentagem de farinha de bolota aumenta, o valor de *b** diminui gradualmente (29,85 nas panquecas com 50% de bolota, 25,38 com 75%, e 23,36 com 100%), sugerindo uma redução da tonalidade amarela. A adição de farinha de bolota reduz o tom amarelado nas panquecas, tornando a cor mais neutra ou levemente avermelhada, como indicado pelos valores de *a** mais altos. Isso pode ocorrer devido ao efeito de escurecimento da bolota, que altera a proporção entre as tonalidades amarelo e vermelho (Peker et al., 2012).

Assim sendo, a farinha de bolota altera significativamente a cor das panquecas. Com o aumento da percentagem de farinha de bolota nas panquecas, a luminosidade L^* diminui, indicando um escurecimento, já o valor a^* aumentou, obtendo uma tonalidade mais avermelhada e o valor b^* diminui, demonstrando uma coloração amarelada.

Essas mudanças de cor são típicas em ingredientes ricos em compostos fenólicos, que tendem a escurecer os alimentos e a conferir uma coloração mais avermelhada, especialmente quando aquecidos. Estes resultados sugerem que a farinha de bolota impacta visualmente a aparência das panquecas, algo que pode influenciar a aceitação sensorial do produto final (Brenes-Balbuena et al., 1992).

As diferentes percentagens de farinha de bolota nas panquecas, tiveram um impacto na cor em todas as amostras de panquecas, nos parâmetros L e b apresentando diferenças estatisticamente significativas em todas as percentagens de farinha de bolota para as panquecas ($p \leq 0,05$).

No parâmetro a , todas as panquecas que tiveram farinha de bolota (50%, 75% e 100%) não apresentaram diferenças estatisticamente ($p > 0,05$).

Na figura 16, é possível observar uma mudança clara na cor das panquecas com o aumento da percentagem de farinha de bolota. A panqueca feita com 0% de farinha de bolota tem uma cor mais clara, com um tom bege uniforme, típico de produtos à base de arroz, que possuem uma cor pálida devido ao baixo teor de pigmentos naturais (Seechamnaturakit et al., 2018).

À medida que a proporção de farinha de bolota aumenta (50%, 75%, até 100%), as panquecas adquirem uma coloração cada vez mais escura, como o tom castanho-escuro que se observou nas panquecas a 100% farinha de bolota. O escurecimento pode ser atribuído à presença de compostos fenólicos e outros pigmentos naturais na farinha de bolota, os quais são mais abundantes e escuros em comparação com os componentes da farinha de arroz (Vinha, Costa, et al., 2016). Estes compostos fenólicos, além de conferir coloração, também podem ter influência nas propriedades antioxidantes e no perfil nutricional do produto final (Vinha, Costa, et al., 2016). Portanto, a variação na cor das panquecas pode não indicar apenas diferenças no conteúdo de pigmentos naturais, mas também diferenças na composição nutricional e nas propriedades funcionais dos ingredientes utilizados (Nabi et al., 2023). Estas características podem influenciar a aceitação sensorial do produto final, pois consumidores podem associar cores mais

escuras a produtos com sabores mais intensos e diferentes (Ribeiro Garcia de Figueiredo Muniz et al., 2023).



Figura 16. Panquecas sem glúten em várias percentagens de farinha de bolota, do lado esquerdo para o direito, de 0% para 100%.

3.2.6. Textura

A análise do perfil de textura é um teste de compressão dupla utilizado para determinar propriedades texturais de produtos de diferentes indústrias, como a alimentar, farmacêutica, cosméticos, produtos de higiene pessoal, entre outros. A análise dos parâmetros texturais das panquecas com diferentes percentagens de farinha de bolota revela variações significativas nas propriedades físicas dos produtos finais, tabela 17.

Tabela 17. Perfil da textura das panquecas sem glúten em várias percentagens de farinha de bolota.

Parâmetros avaliados	Panqueca 0%	Panqueca 50%	Panqueca 75%	Panqueca 100%
Dureza (g)	5050,14 ± 139,50 ^c	7866,76 ± 797,44 ^b	5202 ± 344,28 ^c	12258,99 ± 1432,70 ^a
Adesividade (g)	-0,51 ± 0,05 ^b	-0,38 ± 0,05	-0,22 ± 0,00 ^c	-0,21 ± 0,00 ^a
Elasticidade (g.sec)	0,86 ± 0,02 ^a	0,69 ± 0,03 ^{bc}	0,76 ± 0,00 ^b	0,64 ± 0,02 ^c
Coesividade (%)	0,77 ± 0,02 ^a	0,69 ± 0,03 ^b	0,68 ± 0,00 ^b	0,71 ± 0,02 ^{ab}
Gumosidade (%)	3905,53 ± 228,16 ^{bc}	5446,78 ± 399,80 ^b	3559,85 ± 243,11 ^c	8774,35 ± 1216,24 ^a
Mastigabilidade (%)	3365,33 ± 393,96 ^b	3747,82 ± 294,52 ^b	2686,47 ± 162,08 ^b	5595,39 ± 849,64 ^a
Resiliência (%)	0,45 ± 0,03 ^{ba}	0,41 ± 0,03 ^b	0,40 ± 0,01 ^b	0,49 ± 0,02 ^a

Valores são expressos em g/100g

Cada valor é a média DP, n = 3. Em cada coluna, diferentes letras sobrescritas significam diferenças estatisticamente significativas (p < 0,05).

A dureza das panquecas aumentou à medida que a percentagem de farinha de bolota aumentou, sendo que a panqueca 100% apresentou um valor mais alto de dureza (12258,99 g), enquanto a panqueca de 0% teve um valor significativamente menor (5050,14 g), o que pode ser atribuído à estrutura mais rígida que a farinha de bolota proporciona (Korus et al., 2015), possivelmente devido ao maior teor de fibras e à presença de compostos fenólicos (Chen et al., 2023; Ribeiro Garcia de Figueiredo Muniz et al., 2023). A panqueca 50% bolota também apresentou uma dureza elevada, mas inferior à de 100%, sugerindo que a combinação de farinhas afeta esse parâmetro.

Com o aumento da percentagem de farinha de bolota, a adesividade das panquecas diminuiu, sendo menos negativa na panqueca 100% bolota (-0,21 g) em comparação à panqueca a 0% bolota (-0,51 g). Valores mais altos de adesividade indicam que as panquecas com mais farinha de bolota são menos pegajosas (Adhikari et al., 2001), o que pode ser uma característica desejável em termos de mastigação e sensação na boca (Noren et al., 2019). A menor adesividade nas panquecas com mais farinha de bolota pode estar relacionada à estrutura mais compacta e menos pegajosa proporcionada pelos

componentes da bolota, como as fibras e taninos, que reduzem a pegajosidade (Dhawale et al., 2022; Lei et al., 2024).

A elasticidade também tende a diminuir com o aumento da percentagem de farinha de bolota. A panqueca de 0% de farinha de bolota apresentou a maior elasticidade (0,86 g.sec), enquanto a de 100% bolota teve a menor (0,64 g.sec). Isso indica que a farinha de bolota reduz a capacidade de recuperação elástica das panquecas, talvez devido à sua menor capacidade de retenção de água em comparação com a farinha de arroz. Uma elasticidade mais baixa pode estar associada a uma textura mais densa e menos flexível (Kabel et al., 2021), o que é típico em produtos sem glúten (Cappelli et al., 2020).

O parâmetro coesividade mostrou uma menor variação entre as amostras, mas ainda assim verificou-se um ligeiro decréscimo com a inclusão da farinha de bolota. A panqueca com 0% de farinha de bolota tem a maior coesividade (0,77%), enquanto as panquecas com maior percentagem de farinha de bolota apresentam valores ligeiramente menores. A coesividade refere-se à capacidade da massa de resistir à deformação interna (Tremblay, 2013), o que sugere que a farinha de arroz contribui para uma estrutura mais coesa, enquanto a farinha de bolota reduz essa característica devido à sua menor elasticidade e à rigidez da massa (Kröner, 1967).

Na gomosidade observou-se um aumento significativo com a adição de farinha de bolota, sendo observado o valor mais alto na panqueca com 100% farinha de bolota (8774,35%), enquanto a panqueca com 75% possui o menor valor (3559,85%). Isso sugere que a farinha de bolota gera uma textura mais “gomosa” e compacta. Valores mais altos de gomosidade indicam que a panqueca requer mais força para ser mastigada e decomposta, o que também está associado ao aumento da dureza (Stamatie et al., 2021).

Na panqueca com 100% farinha bolota, observa-se o maior valor para a mastigabilidade (5595,39%), sendo menor nas panquecas com menos percentagem de farinha de bolota. Valores mais altos de mastigabilidade indicam que essas panquecas exigem mais esforço para mastigar e partir em pedaços menores (Mu et al., 2019), uma característica provavelmente ligada à dureza e à estrutura densa proporcionada pela farinha de bolota (Mu et al., 2019). Para consumidores, uma maior mastigabilidade pode ser percebida como uma textura mais firme e menos macia, o que pode afetar a aceitação sensorial do produto (Jeltema et al., 2016).

A resiliência, que mede a capacidade da amostra de recuperar sua forma após ser comprimida (Debnath, 2017), é mais alta na panqueca com 100% de farinha de bolota (0,49%), enquanto as outras panquecas têm valores menores. Isso sugere que a estrutura da panqueca 100% bolota é mais resiliente, o que pode estar relacionado à maior rigidez conferida pela farinha de bolota. Valores maiores de resiliência indicam uma estrutura que tende a retornar à sua forma original, uma característica que pode ser resultado de uma matriz mais firme (Hendrickson, 2015).

Estes resultados indicam que a adição de farinha de bolota afeta significativamente as propriedades de textura das panquecas, tornando-as mais duras, menos elásticas, menos pegajosas e com uma maior mastigabilidade e resiliência. Essas mudanças podem apresentar vantagens ou desvantagens, dependendo do perfil de textura desejado. Por exemplo, uma maior dureza e menor adesividade podem ser vistas como benefícios para a manipulação e apresentação, mas uma mastigabilidade muito alta pode não ser preferida por todos os consumidores. A escolha da proporção de farinha de bolota deve, portanto, considerar o equilíbrio entre textura, sabor e preferência do consumidor.

As diferentes percentagens de farinha de bolota nas panquecas, tiveram um impacto na textura, apresentando diferenças estatisticamente significativas em todas as percentagens de farinha de bolota para as panquecas ($p \leq 0,05$). Nos parâmetros elasticidade, coesividade, gomosidade, mastigabilidade e resiliência houve panquecas que não apresentaram diferenças estatisticamente ($p > 0,05$).



Capítulo 4



4. Conclusão e perspectivas futuras

Este estudo fornece uma caracterização abrangente da farinha de bolota de *Q. pyrenaica* submetida a vários tratamentos para a remoção de taninos. Os resultados revelam que os diferentes tratamentos têm um impacto significativo nos perfis nutricionais e de compostos bioativos da farinha. Notavelmente, a torragem resultou em uma farinha de bolota com maior teor de fibra, proteína e ácidos gordos, enquanto a escaldagem foi mais eficaz na redução dos níveis de compostos fenólicos, tornando-a potencialmente mais adequada para consumo humano. O rico perfil nutricional da farinha de bolota, combinado com a sua natureza sem glúten, posiciona-a como uma alternativa valiosa para indivíduos com doença celíaca e aqueles que procuram opções dietéticas diversas. A presença de ácidos gordos benéficos, como o ácido butírico e oleico, aumentam mais seu apelo no que toca aos benefícios para a saúde. Em termos de compostos fenólicos, as farinhas de bolota apresentaram valores significativos, sendo ricas em ácido gálico, dando ao produto atividade antioxidante. Em termos de açúcares, todas as farinhas continham frutose, manose e glicose e a farinha torrada também continha sacarose.

Explorando, potencial da farinha de bolota como ingrediente alternativo em panquecas sem glúten verificou-se que esta farinha apresenta um perfil nutricional meritório. Os resultados mostraram que a utilização de diferentes percentagens de farinha de bolota nas panquecas impacta significativamente os perfis nutricional, físicos e sensoriais do produto final. Em termos nutricionais, observou-se que o aumento da percentagem de farinha de bolota, aumentou o teor de fibras e proteínas e contribuiu para uma menor quantidade de hidratos de carbono e calorias, tornando as panquecas mais adequadas para dietas ricas em fibras e com restrições calóricas.

Além disso, a análise da cor e da textura revelou que a farinha de bolota influencia visualmente o produto final, o que pode afetar a sua aceitação pelos consumidores. O aumento da percentagem de farinha de bolota trouxe uma cor mais escura e uma textura mais densa, características possivelmente associadas aos compostos fenólicos e ao teor de fibras. Estes compostos, além de conferirem cor, são conhecidos por possuírem atividade antioxidante, sugerindo benefícios para a saúde. A análise digestiva indicou também que a inclusão de farinha de bolota pode melhorar a digestibilidade proteica, promovendo maior biodisponibilidade de proteínas.

A nível geral, a farinha de bolota demonstra ser uma alternativa promissora para o desenvolvimento de produtos de panificação funcionais e sem glúten, oferecendo uma alternativa sustentável e diversificada. Estes resultados apontam para o potencial de inovação na indústria alimentar, destacando a importância de mais estudos para otimizar o processamento da bolota e avaliar a sua aceitação entre os consumidores finais.

Em termos de trabalhos futuros, estes irão centrar-se no desenvolvimento de estratégias para a produção e comercialização das panquecas de bolota a escala industrial, visando torná-las mais acessíveis para o consumidor. Uma das possibilidades é criar uma mistura instantânea à base de farinha de bolota, pronta para ser preparada com a simples adição de líquidos, permitindo um uso prático e conveniente, para isso o único ingrediente que deverá ser alterado é o ovo por ovo em pó. Além disso, poderá ser interessante explorar o enriquecimento nutricional das panquecas com ingredientes funcionais, como pólen ou pão de abelha, para aumentar o teor proteico e adicionar benefícios adicionais à saúde. Esta versão fortificada posicionaria um produto saudável e funcional, sendo mais atraente para consumidores que procuram alternativas ricas em proteínas, especialmente aqueles interessados em produtos naturais e sustentáveis.

Estudos adicionais de análise sensorial e de mercado de modo a aperfeiçoar a formulação das panquecas, garantindo uma aceitação pelos consumidores, também são relevantes. Incluindo diferentes perfis de público-alvo, como crianças, idosos, atletas, doentes celíacos, entre outros, avaliando preferências em termos de sabor, textura, aparência e praticidade.

A nível industrial, será necessário investigar a viabilidade técnica e económica do processo produtivo, incluindo a otimização da moagem da farinha de bolota, a remoção eficiente de taninos e a padronização de misturas. O desenvolvimento de técnicas de conservação adequadas, como embalagens herméticas ou adição de antioxidantes naturais, será crucial para aumentar o tempo de prateleira e garantir a qualidade do produto.

Por último, deverão ser exploradas estratégias de marketing e certificação, como destacar o carácter sem glúten, o apelo ambiental e a inovação do uso de bolotas em alimentos. Estes passos serão fundamentais para posicionar as panquecas de bolota como um produto competitivo no mercado alimentar funcional e sustentável.

5. Referencias

- Abdi, F., Zuberi, S., Blom, J. J., Armstrong, D., & Pinto-Sanchez, M. I. (2023). Nutritional Considerations in Celiac Disease and Non-Celiac Gluten/Wheat Sensitivity. *Nutrients*, *15*(6). <https://doi.org/10.3390/NU15061475>
- Adhikari, B., Howes, T., Bhandari, B. R., & Truong, V. (2001). Stickiness in foods: a review of mechanisms and test methods. *International Journal of Food Properties*, *4*(1), 1–33. <https://doi.org/10.1081/JFP-100002186>
- Akcan, T., Önel, E., & Ergezer, H. (2024). Acorn (*Quercus ithaburensis*) Flour's effect on the physicochemical, textural, and sensory characteristics of raw and cooked beef meatballs. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, *35*, 100887. <https://doi.org/10.1016/J.IJGFS.2024.100887>
- Aljada, B., Zohni, A., & El-Matary, W. (2021). The Gluten-Free Diet for Celiac Disease and Beyond. *Nutrients*, *13*(11). <https://doi.org/10.3390/NU13113993>
- Anderson, J. W., Baird, P., Davis, R. H., Ferreri, S., Knudtson, M., Koraym, A., Waters, V., & Williams, C. L. (2009). Health benefits of dietary fiber. *Nutrition Reviews*, *67*(4), 188–205. <https://doi.org/10.1111/J.1753-4887.2009.00189.X>
- AOAC. (2016). *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL* (20th Ed.). AOAC International.
- Atudorei, D., Atudorei, O., & Codină, G. G. (2022). The Impact of Germinated Chickpea Flour Addition on Dough Rheology and Bread Quality. *Plants (Basel, Switzerland)*, *11*(9). <https://doi.org/10.3390/PLANTS11091225>
- Aylanc, V., Falcão, S. I., & Vilas-Boas, M. (2023). Bee pollen and bee bread nutritional potential: Chemical composition and macronutrient digestibility under in vitro gastrointestinal system. *Food Chemistry*, *413*, 135597. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2023.135597>
- Bainbridge, D. A. (1987). *Use of Acorns for Food in California: Past, Present, Future*. 100. http://works.bepress.com/david_a_bainbridge/43/
- Bainbridge, D. A. (2006). *Acorn Use as Food*. https://works.bepress.com/david_a_bainbridge/17/

- Barros, L., Castañeda, B., & Shiraishi, C. (2022). *Title Trends in grain-based foods*. <http://www.ipb.ptURLhttp://esa.ipb.pt/graintrends/>
- Beltrão Martins, R., Garzón, R., Peres, J. A., Barros, A. I. R. N. A., Raymundo, A., & Rosell, C. M. (2022). Acorn flour and sourdough: an innovative combination to improve gluten free bread characteristics. *European Food Research and Technology*, 248(6), 1691–1702. <https://doi.org/10.1007/S00217-022-03996-Y/FIGURES/3>
- BeMiller, J. N. (2018). Carbohydrate chemistry for food scientists. *Carbohydrate Chemistry for Food Scientists*, 1–427. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-01960-5>
- Bento, I. dos S. B. P., Máguas, C., & Abreu, M. (2020). *Valorização de Sistemas de Elevado Valor Natural: Potencialidades da Bolota do Montado*.
- Björck, I., & Asp, N. G. (1994). Controlling the nutritional properties of starch in foods — a challenge to the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 5(7), 213–218. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(94\)90251-8](https://doi.org/10.1016/0924-2244(94)90251-8)
- Bordenave, N., Chu, Y., Clark, J. P., Doona, C. J., Hoon, J., Feeherry, H. F., Findlay, C., Mcdade, D., Montville, T. J., Nachay, K., Okos, M., Reid, D. S., Saguy, S., Shahidi, F., Stewart, C., Stone, H., Swartzel, K. R., Swientek, B., Thesmar, H., ... Wrolstad, R. (2014). *Food Texture Design and Optimization*. www.wiley.com/wiley-blackwell.
- Brenes-Balbuena, M., García-García, P., & Garrido-Fernandez, A. (1992). Phenolic Compounds Related to the Black Color Formed during the Processing of Ripe Olives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(7), 1192–1196. https://doi.org/10.1021/JF00019A023/ASSET/JF00019A023.FP.PNG_V03
- Canadian Sugar Institute. (n.d.). *Carbohydrate Digestion and Absorption - The Canadian Sugar Institute*. Retrieved October 31, 2024, from <https://sugar.ca/sugars-health/carbohydrate-digestion-and-absorption>
- Cappelli, A., Oliva, N., & Cini, E. (2020). A Systematic Review of Gluten-Free Dough and Bread: Dough Rheology, Bread Characteristics, and Improvement Strategies. *Applied Sciences* 2020, Vol. 10, Page 6559, 10(18), 6559. <https://doi.org/10.3390/APP10186559>

- Carbonaro, M., Maselli, P., & Nucara, A. (2015). Structural aspects of legume proteins and nutraceutical properties. *Food Research International*, 76(P1), 19–30. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2014.11.007>
- Caruso, R., Pallone, F., Stasi, E., Romeo, S., & Monteleone, G. (2013). Appropriate nutrient supplementation in celiac disease. *Annals of Medicine*, 45(8), 522–531. <https://doi.org/10.3109/07853890.2013.849383>
- Castro, L. M. G., Caço, A. I., Pereira, C. F., Sousa, S. C., Brassesco, M. E., Machado, M., Ramos, Ó. L., Alexandre, E. M. C., Saraiva, J. A., & Pintado, M. (2023). Modification of Acorn Starch Structure and Properties by High Hydrostatic Pressure. *Gels*, 9(9), 757. <https://doi.org/10.3390/GELS9090757/S1>
- Castro, L. M. G., Ribeiro, T. B., Machado, M., Alexandre, E. M. C., Saraiva, J. A., & Pintado, M. (2022). Unraveling the Effect of Dehulling Methods on the Nutritional Composition of Acorn *Quercus* spp. *Journal of Food Composition and Analysis*, 106, 104354. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2021.104354>
- Chaaban, H., Ioannou, I., Chebil, L., Slimane, M., Gerardin, C., Paris, C., Charbonnel, C., Chekir, L., & Ghou, M. (2017). Effect of heat processing on thermal stability and antioxidant activity of six flavonoids. *Journal of Food Processing and Preservation*, 5, 13203. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13203>
- Chen, Y., Hu, X., Shi, Q., Lu, Y., Yan, J., Wu, D. T., & Qin, W. (2023). Changes in the Fruit Quality, Phenolic Compounds, and Antioxidant Potential of Red-Fleshed Kiwifruit during Postharvest Ripening. *Foods 2023, Vol. 12, Page 1509, 12(7)*, 1509. <https://doi.org/10.3390/FOODS12071509>
- Choudhury, A. K. R. (2014). Colour measurement instruments. *Principles of Colour and Appearance Measurement*, 221–269. <https://doi.org/10.1533/9780857099242.221>
- Correia, P., Leitão, A., & Beirão-da-Costa, M. L. (2009). The effect of drying temperatures on morphological and chemical properties of dried chestnuts flours. *Journal of Food Engineering*, 90(3), 325–332. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2008.06.040>
- Correia, P. R., Leitão, A. E., & Beirão-Da-Costa, M. L. (2009). Effect of drying temperatures on chemical and morphological properties of acorn flours.

- International Journal of Food Science & Technology*, 44(9), 1729–1736.
<https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2009.01988.X>
- Debnath, S. (2017). Sustainable production and application of natural fibre-based nonwoven. *Sustainable Fibres and Textiles*, 367–391. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102041-8.00013-5>
- Demirkesen, I., Mert, B., Sumnu, G., & Sahin, S. (2010). Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering*, 96(2), 295–303. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2009.08.004>
- Dhawale, P. V., Vineeth, S. K., Gadhave, R. V., Fatima M. J., J., Supekar, M. V., Thakur, V. K., & Raghavan, P. (2022). Tannin as a renewable raw material for adhesive applications: a review. *Materials Advances*, 3(8), 3365–3388. <https://doi.org/10.1039/D1MA00841B>
- El Khoury, D., Balfour-Ducharme, S., & Joye, I. J. (2018). A Review on the Gluten-Free Diet: Technological and Nutritional Challenges. *Nutrients*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/NU10101410>
- Ertan, K., Sahin, S., & Sumnu, G. (2024). Effects of alkaline pH and gallic acid enrichment on the physicochemical properties of sesame protein and common vetch starch-based composite films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 257, 128743. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2023.128743>
- FAO. (n.d.). *Circular and solidarity economy | Agroecology Knowledge Hub | Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Retrieved September 13, 2024, from https://www.fao.org/agroecology/knowledge/10-elements/circular-economy/en/?page=3&ipp=5&tx_dynalist_pi1%5Bpar%5D=YToxOntzOjE6IkwiO3M6MToiMCI7fQ%3D%3D
- Fasano, A., & Catassi, C. (2012). Clinical practice. Celiac disease. *The New England Journal of Medicine*, 367(25), 2419–2426. <https://doi.org/10.1056/NEJMCP1113994>
- Fernández, I., Gómez, A., Moreno, P., Fernández, P., De Pedro, E., Díaz, E., & Sánchez, I. (2005). *Características de las bellotas de encina (quercus ilex) en diferentes zonas del valle de los pedroches (córdoba). Inventario bromatológico.*

- Food and agriculture organization of the United Nations. (2014). *Building a common vision for sustainable food and agriculture Principles and Approaches*.
- Fortune Business Insights. (n.d.). *Pancakes Market Size, Industry Share, Forecast 2032*. Retrieved September 2, 2024, from <https://www.fortunebusinessinsights.com/pancakes-market-103838>
- Goff, H. D., Repin, N., Fabek, H., El Khoury, D., & Gidley, M. J. (2018). Dietary fibre for glycaemia control: Towards a mechanistic understanding. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 14, 39–53. <https://doi.org/10.1016/J.BCDF.2017.07.005>
- Granato, D., Branco, G. F., Nazzaro, F., Cruz, A. G., & Faria, J. A. F. (2010). Functional Foods and Nondairy Probiotic Food Development: Trends, Concepts, and Products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(3), 292–302. <https://doi.org/10.1111/J.1541-4337.2010.00110.X>
- Grant, W. D., Danson, M. J., Scott, D. J., Halling, P. J., Engberts, J. B. F. N., Ho, M. W., & Berendsen, H. J. C. (2004). Life at low water activity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 359(1448), 1249. <https://doi.org/10.1098/RSTB.2004.1502>
- Gulten, H. T., Polat, M., Basak, M., Qureshi, M., Golukcu, M., Uzun, B., & Yol, E. (2023). Molecular breeding to develop advanced lines with high oleic acid and pod yield in peanut. *Industrial Crops and Products*, 203, 117231. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2023.117231>
- Heberle, T., Ávila, B. P., Nascimento, L. Á. do, & Gularte, M. A. (2022). Consumer perception of breads made with germinated rice flour and its nutritional and technological properties. *Applied Food Research*, 2(2), 100142. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2022.100142>
- Hendrickson, M. K. (2015). Resilience in a concentrated and consolidated food system. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 5(3), 418–431. <https://doi.org/10.1007/S13412-015-0292-2/TABLES/4>
- Herrero, M., Thornton, P. K., Mason-D'Croz, D., Palmer, J., Bodirsky, B. L., Pradhan, P., Barrett, C. B., Benton, T. G., Hall, A., Pikaar, I., Bogard, J. R., Bonnett, G. D., Bryan, B. A., Campbell, B. M., Christensen, S., Clark, M., Fanzo, J., Godde, C. M., Jarvis,

- A., ... Rockström, J. (2021). Articulating the effect of food systems innovation on the Sustainable Development Goals. *The Lancet Planetary Health*, 5(1), e50–e62. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30277-1](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30277-1)
- Hopfenberg, R., & Pimentel, D. (2001). Human population numbers as a function of food supply. *Environment, Development and Sustainability*, 3(1), 1–15. <https://doi.org/10.1023/A:1011463231976/METRICS>
- Houben, A., Höchstötter, A., & Becker, T. (2012). Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: An overview. *European Food Research and Technology*, 235(2), 195–208. <https://doi.org/10.1007/S00217-012-1720-0/FIGURES/9>
- Huppertz, T., Shkemi, B., Brader, L., & Geurts, J. (2024). Dairy Matrix Effects: Physicochemical Properties Underlying a Multifaceted Paradigm. *Nutrients*, 16(7), 943. <https://doi.org/10.3390/NU16070943>
- INSA_pt.* (n.d.). Retrieved April 9, 2024, from <http://portfir.insa.pt/foodcomp/foodcompare?foodId=22911&foodIdForDelete=22911>
- Jabco Foods.* (n.d.). Retrieved September 3, 2024, from <https://jabcofoods.com.au/product-category/flour/?pdf-catalog=354>
- Jeltema, M., Beckley, J., & Vahalik, J. (2016). Food texture assessment and preference based on Mouth Behavior. *Food Quality and Preference*, 52, 160–171. <https://doi.org/10.1016/J.FOODQUAL.2016.04.010>
- Kabel, J., Edwards, T. E. J., Sharma, A., Michler, J., & Hosemann, P. (2021). Direct observation of the elasticity-texture relationship in pyrolytic carbon via in situ micropillar compression and digital image correlation. *Carbon*, 182, 571–584. <https://doi.org/10.1016/J.CARBON.2021.06.045>
- Kaur, M., & Singh, N. (2007). Relationships between various functional, thermal and pasting properties of flours from different Indian black gram (*Phaseolus mungo* L.) cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(6), 974–984. <https://doi.org/10.1002/JSFA.2789>

- Keim, N. L., & Havel, P. J. (2012). Fructose: Absorption and Metabolism. *Encyclopedia of Human Nutrition*, 2–4, 361–365. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375083-9.00128-8>
- Korus, J., Witczak, M., Ziobro, R., & Juszcak, L. (2015). The influence of acorn flour on rheological properties of gluten-free dough and physical characteristics of the bread. *European Food Research and Technology*, 240(6), 1135–1143. <https://doi.org/10.1007/S00217-015-2417-Y/FIGURES/4>
- Kröner, E. (1967). Elasticity theory of materials with long range cohesive forces. *International Journal of Solids and Structures*, 3(5), 731–742. [https://doi.org/10.1016/0020-7683\(67\)90049-2](https://doi.org/10.1016/0020-7683(67)90049-2)
- Kurppa, K., Mulder, C. J., Stordal, K., & Kaukinen, K. (2024). Celiac Disease Affects 1% of Global Population: Who Will Manage All These Patients? *Gastroenterology*, 167(1), 148–158. <https://doi.org/10.1053/J.GASTRO.2023.12.026>
- Lebwohl, B., Sanders, D. S., & Green, P. H. R. (2017). *Seminar Coeliac disease*. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)31796-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)31796-8)
- Lei, L., Zhao, B., Cheng, Z., Wei, Z., Ji, C., Zhu, Y., Yu, T., Li, Y., & Fan, J. (2024). Improving the interfacial adhesion and mechanical properties of flax fiber reinforced composite through fiber modification and layered structure. *Industrial Crops and Products*, 221, 119305. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2024.119305>
- Lemos, M. R. B., Siqueira, E. M. de A., Arruda, S. F., & Zambiasi, R. C. (2012). The effect of roasting on the phenolic compounds and antioxidant potential of baru nuts [*Dipteryx alata* Vog.]. *Food Research International*, 48(2), 592–597. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2012.05.027>
- Levent, A., & Aktaş, K. (2024). Nutritional composition and staling properties of gluten-free bread-added fermented acorn flour. *Food Science & Nutrition*, 12(3), 1955. <https://doi.org/10.1002/FSN3.3890>
- Li, M., Mao, C., Li, X., Jiang, L., Zhang, W., Li, M., Liu, H., Fang, Y., Liu, S., Yang, G., & Hou, X. (2023). Edible Insects: A New Sustainable Nutritional Resource Worth Promoting. *Foods*, 12(22). <https://doi.org/10.3390/FOODS12224073>

- Li, Q., Shi, X., Zhao, Q., Cui, Y., Ouyang, J., & Xu, F. (2016). Effect of cooking methods on nutritional quality and volatile compounds of Chinese chestnut (*Castanea mollissima* Blume). *Food Chemistry*, *201*, 80–86. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2016.01.068>
- Li, W., Huang, L., Liu, N., Pandey, M. K., Chen, Y., Cheng, L., Guo, J., Yu, B., Luo, H., Zhou, X., Huai, D., Chen, W., Yan, L., Wang, X., Lei, Y., Varshney, R. K., Liao, B., & Jiang, H. (2021). Key regulators of sucrose metabolism identified through comprehensive comparative transcriptome analysis in peanuts. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*(14), 7266. <https://doi.org/10.3390/IJMS22147266/S1>
- Lindqvist, A., Baelemans, A., & Erlanson-Albertsson, C. (2008). Effects of sucrose, glucose and fructose on peripheral and central appetite signals. *Regulatory Peptides*, *150*(1–3), 26–32. <https://doi.org/10.1016/j.regpep.2008.06.008>
- Liu, A. G., Most, M. M., Brashear, M. M., Johnson, W. D., Cefalu, W. T., & Greenway, F. L. (2012). Reducing the glycemic index or carbohydrate content of mixed meals reduces postprandial glycemia and insulinemia over the entire day but does not affect satiety. *Diabetes Care*, *35*(8), 1633–1637. <https://doi.org/10.2337/DC12-0329/-/DC1>
- Loureiro, T., Poeta, P., Gonçalves, B., Serra, L., Martins, Â., & Cortez, I. (2022). *Histological analysis of Xylella fastidiosa infection in Quercus pyrenaica in Northern Portugal*. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2024033>
- Lu, Y., Zhao, J., Xin, Q., Yuan, R., Miao, Y., Yang, M., Mo, H., Chen, K., & Cong, W. (2024). Protective effects of oleic acid and polyphenols in extra virgin olive oil on cardiovascular diseases. *Food Science and Human Wellness*, *13*(2), 529–540. <https://doi.org/10.26599/FSHW.2022.9250047>
- Ludvigsson, J. F., Bai, J. C., Biagi, F., Card, T. R., Ciacci, C., Ciclitira, P. J., Green, P. H. R., Hadjivassiliou, M., Holdoway, A., Van Heel, D. A., Kaukinen, K., Leffler, D. A., Leonard, J. N., Lundin, K. E. A., McGough, N., Davidson, M., Murray, J. A., Swift, G. L., Walker, M. M., ... Sanders, D. S. (2014). Diagnosis and management of adult coeliac disease: guidelines from the British Society of Gastroenterology. *Gut*, *63*(8), 1210–1228. <https://doi.org/10.1136/GUTJNL-2013-306578>

- Ma, C., Sun, Z., Chen, C., Zhang, L., & Zhu, S. (2014). Simultaneous separation and determination of fructose, sorbitol, glucose and sucrose in fruits by HPLC-ELSD. *Food Chemistry*, *145*, 784–788. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.135>
- Macarthur, E. (n.d.). *Founding Partners of the TOWARDS THE CIRCULAR ECONOMY Economic and business rationale for an accelerated transition*.
- Makhlouf, F. Z., Squeo, G., Barkat, M., Trani, A., & Caponio, F. (2018). Antioxidant activity, tocopherols and polyphenols of acorn oil obtained from *Quercus* species grown in Algeria. *Food Research International*, *114*, 208–213. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2018.08.010>
- Martins, R. B., Gouvinhas, I., Nunes, M. C., Ferreira, L. M., Peres, J. A., Raymundo, A., & Barros, A. I. R. N. A. (2022). Acorn flour from holm oak (*Quercus rotundifolia*): Assessment of nutritional, phenolic, and technological profile. *Current Research in Food Science*, *5*, 2211–2218. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.11.003>
- Martins, R. B., Gouvinhas, I., Nunes, M. C., Peres, J. A., Raymundo, A., & Barros, A. I. R. N. A. (2020). Acorn Flour as a Source of Bioactive Compounds in Gluten-Free Bread. *Molecules* *2020*, *Vol. 25*, *Page 3568*, *25*(16), 3568. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES25163568>
- Mazzola, A. M., Zammarchi, I., Valerii, M. C., Spisni, E., Saracino, I. M., Lanzarotto, F., & Ricci, C. (2024). Gluten-Free Diet and Other Celiac Disease Therapies: Current Understanding and Emerging Strategies. *Nutrients* *2024*, *Vol. 16*, *Page 1006*, *16*(7), 1006. <https://doi.org/10.3390/NU16071006>
- Megazyme. (2017). *Total dietary fiber assay procedure*. www.megazyme.com
- Melini, V., & Melini, F. (2019). Gluten-Free Diet: Gaps and Needs for a Healthier Diet. *Nutrients*, *11*(1). <https://doi.org/10.3390/NU11010170>
- MiMoriarty. (n.d.). *A space of possibilities: CIELAB | MiMoriarty*. Retrieved November 9, 2024, from <https://mimoriarty.wordpress.com/2011/11/21/a-space-of-possibilities-cielab/>
- Minekus, M., Alming, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., Carrière, F., Boutrou, R., Corredig, M., Dupont, D., Dufour, C., Egger, L., Golding, M., Karakaya, S., Kirkhus, B., Le Feunteun, S., Lesmes, U., MacIerzanka, A., MacKie,

- A., ... Brodtkorb, A. (2014). A standardised static in vitro digestion method suitable for food-an international consensus. *Food and Function*, 5(6), 1113–1124. <https://doi.org/10.1039/c3fo60702j>
- Missbach, B., Schwingshackl, L., Billmann, A., Mystek, A., Hickelsberger, M., Bauer, G., & König, J. (2015). Gluten-free food database: The nutritional quality and cost of packaged gluten-free foods. *PeerJ*, 2015(10). <https://doi.org/10.7717/PEERJ.1337/SUPP-4>
- Mu, T. H., Zhang, M., Sun, H. N., & Pérez, I. C. (2019). Sweet potato staple foods. *Sweet Potato: Chemistry, Processing and Nutrition*, 273–302. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813637-9.00010-7>
- Muthreich, F., Zimmermann, B., Birks, H. J. B., Vila-Viçosa, C. M., & Seddon, A. W. R. (2020). Chemical variations in Quercus pollen as a tool for taxonomic identification: Implications for long-term ecological and biogeographical research. *Journal of Biogeography*, 47(6), 1298–1309. <https://doi.org/10.1111/JBI.13817>
- Nabi, B. G., Mukhtar, K., Ahmed, W., Manzoor, M. F., Ranjha, M. M. A. N., Kieliszek, M., Bhat, Z. F., & Aadil, R. M. (2023). Natural pigments: Anthocyanins, carotenoids, chlorophylls, and betalains as colorants in food products. *Food Bioscience*, 52, 102403. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2023.102403>
- Niland, B., & Cash, B. D. (2018). Health Benefits and Adverse Effects of a Gluten-Free Diet in Non-Celiac Disease Patients. *Gastroenterology & Hepatology*, 14(2), 82. [/pmc/articles/PMC5866307/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3076307/)
- Noren, N. E., Scanlon, M. G., & Arntfield, S. D. (2019). Differentiating between tackiness and stickiness and their induction in foods. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 290–301. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2019.03.014>
- Norton, V., Wagstaff, C., Rodriguez Garcia, J., Lovegrove, A., Shewry, P., Charlton, M., Gillett, N., Tindall, M. J., & Lignou, S. (2024). “Wait, Do I Need More Fiber?” Exploring UK Consumers’ Dietary Fiber-Related Awareness and White Bread as a Viable Solution to Promote Subsequent Intake. *Current Developments in Nutrition*, 8(9), 104430. <https://doi.org/10.1016/J.CDNUT.2024.104430>
- Nunes, U., & Oliveira, D. E. (2019). *Economia Circular: Uma revolução industrial visando o desenvolvimento sustentável*.

- Omana, D. A., Aswathnaryan, S., Binsi, P. K., & Howell, N. K. (2010). (PDF) *COMPOSITION AND QUALITY OF RICE FLOUR-FISH MINCE BASED EXTRUDED PRODUCTS WITH EMPHASIS ON THERMAL PROPERTIES OF RICE FLOUR*.
https://www.researchgate.net/publication/297429578_COMPOSITION_AND_QUALITY_OF_RICE_FLOUR-FISH_MINCE_BASED_EXTRUDED_PRODUCTS_WITH_EMPHASIS_ON_THERMAL_PROPERTIES_OF_RICE_FLOUR
- ONU News Perspectiva Global Reportagens Humanas. (n.d.). *FAO: Desenvolvimento sustentável nas indústrias de sementes é vital* | ONU News. Retrieved September 1, 2024, from <https://news.un.org/pt/story/2021/11/1769342>
- Oracz, J., Prejzner, M., Grzelczyk, J., Kowalska, G., & Żyżelewicz, D. (2023). Bioactive Compounds, Antioxidant Activity and Sensory Properties of Northern Red Oak (*Quercus rubra* L., syn. *Q. borealis* F. Michx) Seeds Affected by Roasting Conditions. *Molecules*, 28(5). <https://doi.org/10.3390/MOLECULES28052299/S1>
- Orthofer, F. T., & Eastman, J. (2004). Rice bran and oil. *RICE: Chemistry and Technology*, 569–593. <https://www.cerealsgrains.org/Pages/default.aspx>
- Osella, C., De, M., Torre, L., & Sánchez, H. (2014). Safe Foods for Celiac People. *Food and Nutrition Sciences*, 2014(09), 787–800. <https://doi.org/10.4236/FNS.2014.59089>
- Pacheco, A. (2015). *Análise nutricional, físico-química e atividade antioxidante de frutos de Quercus sp. visando a sua valorização*.
- Padalino, L., Mastromatteo, M., Lecce, L., Cozzolino, F., & Del Nobile, M. A. (2013). Manufacture and characterization of gluten-free spaghetti enriched with vegetable flour. *Journal of Cereal Science*, 57(3), 333–342. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2012.12.010>
- Palacios, C. (2006). The role of nutrients in bone health, from A to Z. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 46(8), 621–628. <https://doi.org/10.1080/10408390500466174>
- Papoti, V. T., Kizaki, N., Skaltsi, A., Karayannakidis, P. D., & Papageorgiou, M. (2018). The phytochemical rich potential of acorn (*Quercus aegilops*) products and by

- products. *Food Science and Biotechnology*, 27(3), 819–828. <https://doi.org/10.1007/S10068-017-0293-X>
- Parada, J., & Aguilera, J. M. (2011). Review: Starch matrices and the glycemic response. *Food Science and Technology International*, 17(3), 187–204. <https://doi.org/10.1177/1082013210387712>
- Park, J., & Kim, H. S. (2023). Rice-Based Gluten-Free Foods and Technologies: A Review. *Foods*, 12(22). <https://doi.org/10.3390/FOODS12224110>
- Patil, S. P., & Arya, S. S. (2017). Nutritional, functional, phytochemical and structural characterization of gluten-free flours. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(3), 1284–1294. <https://doi.org/10.1007/S11694-017-9506-5/FIGURES/3>
- Peker, H., Atilgan, A., Ulusoy, H., & Goktas, O. (2012). Usage opportunities of the natural dye extracted from acorn (*Quercus ithaburensis* Decaisne) in the furniture industry upper surface treatment. *International Journal of Physical Sciences*, 7(40), 5552–5558. <https://doi.org/10.5897/IJPS12.479>
- Pihlanto, A., & Korhonen, H. (2003). Bioactive peptides and proteins. *Advances in Food and Nutrition Research*, 47, 175–276. [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(03\)47004-6](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(03)47004-6)
- Pipoyan, D., Stepanyan, S., Stepanyan, S., Beglaryan, M., Costantini, L., Molinari, R., & Merendino, N. (2021). The Effect of Trans Fatty Acids on Human Health: Regulation and Consumption Patterns. *Foods 2021, Vol. 10, Page 2452, 10(10)*, 2452. <https://doi.org/10.3390/FOODS10102452>
- Pomeranz, Y., & Meloan, C. E. (1994). Ash and Minerals. *Food Analysis*, 602–624. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6998-5_35
- Pomoni, D. I., Koukou, M. K., Vrachopoulos, M. Gr., & Vasiliadis, L. (2024). Circular economy: A multilevel approach for natural resources and wastes under an agri-food perspective. *Water-Energy Nexus*, 7, 103–123. <https://doi.org/10.1016/J.WEN.2023.12.003>
- Poshadri, A., Deshpande, H. W., Machewad, G. M., Kshirsagar, R. B., Gadhe, K. S., & Kadam, S. D. (2023). Functional properties of selected composite gluten-free

- pseudocereals flour. *Food and Humanity*, 1, 1200–1205. <https://doi.org/10.1016/J.FOOHUM.2023.09.015>
- Posner, E. B., & Haseeb, M. (2023). Celiac Disease. *StatPearls*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK441900/>
- Pugh, J. E., Cai, M., Altieri, N., & Frost, G. (2023). A comparison of the effects of resistant starch types on glycemic response in individuals with type 2 diabetes or prediabetes: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1118229. <https://doi.org/10.3389/FNUT.2023.1118229/FULL>
- Rabbi, M. F., & Amin, M. Bin. (2024). Circular economy and sustainable practices in the food industry: A comprehensive bibliometric analysis. *Cleaner and Responsible Consumption*, 14, 100206. <https://doi.org/10.1016/J.CLRC.2024.100206>
- Rai, S., Kaur, A., & Chopra, C. S. (2018). Gluten-Free Products for Celiac Susceptible People. *Frontiers in Nutrition*, 5, 116. <https://doi.org/10.3389/FNUT.2018.00116>
- Razola-Díaz, M. D. C., Gómez-Caravaca, A. M., de Andrés, J. L., Voltés-Martínez, A., Zamora, A., Pérez-Molina, G. M., Castro, D. J., Marchal, J. A., & Verardo, V. (2022). Evaluation of Phenolic Compounds and Pigments Content in Yellow Bell Pepper Wastes. *Antioxidants*, 11(3), 557. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX11030557/S1>
- Ribeiro Garcia de Figueiredo Muniz, V., Sampaio Ribeiro, I., Ribeiro Lima Beckmam, K., & Catie Bueno de Godoy, R. (2023). Food Technol., Campinas, v. 26, e2022088. *Brazilian Journal of Food Technology*, 26, 2022088. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.08822>
- Ritzoulis, C., & Karayannakidis, P. D. (2015). Proteins as texture modifiers. *Modifying Food Texture: Novel Ingredients and Processing Techniques*, 51–69. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-333-1.00003-6>
- Rodrigues De Albuquerque, B. (2023). *Natural colorants based on anthocyanins obtained from bioresidues*.
- Rosell, C. M., & Marco, C. (2008). Rice. *Gluten-Free Cereal Products and Beverages*, 81–III. <https://doi.org/10.1016/B978-012373739-7.50006-X>

- Rubio-Tapia, A., Ludvigsson, J. F., Brantner, T. L., Murray, J. A., & Everhart, J. E. (2012). The prevalence of celiac disease in the United States. *The American Journal of Gastroenterology*, *107*(10), 1538–1544. <https://doi.org/10.1038/AJG.2012.219>
- Salamatullah, A. M., Özcan, M. M., Alkaltham, M. S., Uslu, N., & Hayat, K. (2021). Influence of boiling on total phenol, antioxidant activity, and phenolic compounds of celery (*Apium graveolens* L) root. *Journal of Food Processing and Preservation*, *45*(2). <https://doi.org/10.1111/JFPP.15171>
- Sánchez-Burgos, J. A., Ramírez-Mares, M. V., Larrosa, M. M., Gallegos-Infante, J. A., González-Laredo, R. F., Medina-Torres, L., & Rocha-Guzmán, N. E. (2013). Antioxidant, antimicrobial, antitopoisomerase and gastroprotective effect of herbal infusions from four *Quercus* species. *Industrial Crops and Products*, *42*(1), 57–62. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2012.05.017>
- Schved, F., & Hassidov, B. (2008). *Fructose: A high quality sweetener flavour enhancing, calorie-reduction and impact on glyceimic load | Request PDF*. https://www.researchgate.net/publication/298546112_Fructose_A_high_quality_sweetener_flavour_enhancing_calorie-reduction_and_impact_on_glyceimic_load
- Seechamnaturakit, V., Karrila, T. T., Sontimuang, C., & Sukhoom, A. (2018). The Natural Pigments in Pigmented Rice Bran and Their Relation to Human Health: A Literature Review. *KMUTNB International Journal of Applied Science and Technology*. <https://doi.org/10.14416/J.IJAST.2018.01.004>
- Shahamati, M., Ahmadi, P., Tabibiazar, M., Fazeliioskouei, T., Azadmard-Damirchi, S., & Zargaraan, A. (2024). Characterization of acorn oil and its application on carnauba wax-based oleogel and chocolate spread. *International Journal of Biological Macromolecules*, *260*, 129571. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2024.129571>
- Shramko, V. S., Polonskaya, Y. V., Kashtanova, E. V., Stakhneva, E. M., & Ragino, Y. I. (2020). The Short Overview on the Relevance of Fatty Acids for Human Cardiovascular Disorders. *Biomolecules*, *10*(8), 1127. <https://doi.org/10.3390/BIOM10081127>
- Silva, S., Costa, E. M., Borges, A., Carvalho, A. P., Monteiro, M. J., & Pintado, M. M. E. (2016). Nutritional characterization of acorn flour (a traditional component of the

- Mediterranean gastronomic folklore). *Journal of Food Measurement and Characterization*, *10*(3), 584–588. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9340-1>
- Šmídová, Z., & Rysová, J. (2022). Gluten-Free Bread and Bakery Products Technology. *Foods*, *11*(3). <https://doi.org/10.3390/FOODS11030480>
- Souto-Herrero, M., Rozas, V., & García-González, I. (2018). Earlywood vessels and latewood width explain the role of climate on wood formation of *Quercus pyrenaica* Willd. across the Atlantic-Mediterranean boundary in NW Iberia. *Forest Ecology and Management*, *425*, 126–137. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2018.05.042>
- Spréa, R. M., Fernandes, Â., Calhelha, R. C., Pereira, C., Pires, T. C. S. P., Alves, M. J., Canan, C., Barros, L., Amaral, J. S., & Ferreira, I. C. F. R. (2020). Chemical and bioactive characterization of the aromatic plant: *Levisticum officinale* W.D.J. Koch: a comprehensive study. *Food and Function*, *11*(2), 1292–1303. <https://doi.org/10.1039/C9FO02841B>
- Stamatie, G. D., Duță, D. E., Belc, N., Zoani, C., & Israel-Roming, F. (2021). NUTRITIONAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF SOME PROTEIN SOURCES. *AgroLife Scientific Journal*, *10*(1), 214–220. <https://doi.org/10.17930/AGL2021124>
- Sun, G., Jin, L., Wang, G., Wang, X., & Huang, J. (2024). Expression of ATP-binding cassette transporter proteins AatA or MdlB facilitates butyric acid production in *Clostridium tyrobutyricum*. *Biochemical Engineering Journal*, *201*, 109142. <https://doi.org/10.1016/J.BEJ.2023.109142>
- Szablowska, E., & Tańska, M. (2021). Acorn flour properties depending on the production method and laboratory baking test results: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *20*(1), 980–1008. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12683>
- Thompson, T., Dennis, M., Higgins, L. A., Lee, A. R., & Sharrett, M. K. (2005). Gluten-free diet survey: Are Americans with coeliac disease consuming recommended amounts of fibre, iron, calcium and grain foods? *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, *18*(3), 163–169. <https://doi.org/10.1111/J.1365-277X.2005.00607.X>
- Tremblay, B. (2013). Cold Production of Heavy Oil. *Enhanced Oil Recovery Field Case Studies*, 615–666. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386545-8.00022-1>

- Tuberoso, C. I. G., & Orrù, C. D. (2008). Phenolic compounds in food. *Progress in Food Chemistry*, 1–45. <https://doi.org/10.1021/BK-1992-0507.CH001>
- U.S. Department of Agriculture. (2019). *FoodData Central*. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169714/nutrients>
- Vieira, J. de S., de Oliveira, V. S., Carneiro, M. J., da Silva, T. L., Augusta, I. M., de Carvalho, M. G., Sawaya, A. C. H. F., & Saldanha, T. (2023). Phenolic composition and insights into the use of pink pepper (*Schinus terebentifolius* Raddi) fruit against lipid oxidation in food systems. *Food Bioscience*, 53. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102556>
- Vinci, R. P. (2001). Thin Films: Texture Effects on Mechanical Properties. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, 9283–9285. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043152-6/01673-9>
- Vinha, A. F., Barreira, J. C. M., Costa, A. S. G., & Oliveira, M. B. P. P. (2016). A New Age for *Quercus* spp. Fruits: Review on Nutritional and Phytochemical Composition and Related Biological Activities of Acorns. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(6), 947–981. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12220>
- Vinha, A. F., Costa, A. S. G., Barreira, J. C. M., Pacheco, R., Beatriz, M., & Oliveira, P. P. (2016). Chemical and antioxidant profiles of acorn tissues from *Quercus* spp.: Potential as new industrial raw materials. *Industrial Crops & Products*, 94, 143–151. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.08.027>
- Wilder. (n.d.). *O que procurar no Verão: o carvalho-negral - Wilder*. Retrieved October 23, 2024, from <https://wilder.pt/naturalistas/o-que-procurar-no-verao-o-carvalho-negral>
- Wu, S., Jia, W., He, H., Yin, J., Xu, H., He, C., Zhang, Q., Peng, Y., & Cheng, R. (2023). A New Dietary Fiber Can Enhance Satiety and Reduce Postprandial Blood Glucose in Healthy Adults: A Randomized Cross-Over Trial. *Nutrients*, 15(21), 4569. <https://doi.org/10.3390/NU15214569/S1>
- Xiang, Z., Guan, H., Zhao, X., Xie, Q., Xie, Z., Cai, F., Dang, R., Li, M., & Wang, C. (2024). Dietary gallic acid as an antioxidant: A review of its food industry applications, health benefits, bioavailability, nano-delivery systems, and drug

- interactions. *Food Research International*, *180*, 114068. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2024.114068>
- Xu, F., Zheng, Y., Yang, Z., Cao, S., Shao, X., & Wang, H. (2014). Domestic cooking methods affect the nutritional quality of red cabbage. *Food Chemistry*, *161*, 162–167. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2014.04.025>
- Yahia, E. M., Carrillo-López, A., & Bello-Perez, L. A. (2018). Carbohydrates. *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*, 175–205. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00009-9>
- Yemmireddy, V. K., Chintagari, S., Hung, Y. C., Yemmireddy, V. K., Chintagari, S., & Hung, Y. C. (2013). Physico-chemical Properties of Pancakes Made from an Instant Mix Containing Different Levels of Peanut (*Arachis hypogaea*) Flour. *Peanut Science*, *40*(2), 142–148. <https://doi.org/10.3146/PS13-01.1>
- Yun, B.-W., Kim, M.-G., Handoyo, T., & Kim, K.-M. (2014). Analysis of Rice Grain Quality-Associated Quantitative Trait Loci by Using Genetic Mapping. *American Journal of Plant Sciences*, *05*(09), 1125–1132. <https://doi.org/10.4236/AJPS.2014.59125>
- Zhong, H., Allen, K., & Martini, S. (2014). Effect of lipid physical characteristics on the quality of baked products. *Food Research International*, *55*, 239–246. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2013.11.010>
- Zhou, Z., Zhou, X., Zhang, Y., Yang, Y., Wang, L., & Wu, Z. (2023). Butyric acid inhibits oxidative stress and inflammation injury in calcium oxalate nephrolithiasis by targeting CYP2C9. *Food and Chemical Toxicology*, *178*, 113925. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2023.113925>
- Zhu, F. (2015). Interactions between starch and phenolic compound. *Trends in Food Science & Technology*, *43*(2), 129–143. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2015.02.003>
- Zingone, F., Capone, P., & Ciacci, C. (2010). Celiac disease: Alternatives to a gluten free diet. *World Journal of Gastrointestinal Pharmacology and Therapeutics*, *1*(1), 36. <https://doi.org/10.4292/WJGPT.V1.I1.36>
- Zocchi, D. M., Bondioli, C., Hamzeh Hosseini, S., Miara, M. D., Musarella, C. M., Mohammadi, D., Khan Manduzai, A., Dilawer Issa, K., Sulaiman, N., Khatib, C.,

Ahmed, H. M., Faraj, T. A., Amin, H. I. M., Hussain, F. H. S., Faiz, A., Pasqualone, A., Heinrich, F., Fontefrancesco, M. F., & Pieroni, A. (2022). Food Security beyond Cereals: A Cross-Geographical Comparative Study on Acorn Bread Heritage in the Mediterranean and the Middle East. *Foods*, *11*(23). <https://doi.org/10.3390/FOODS11233898>

6. Anexos

Em anexo seguem-se alguns resumos de congressos apresentados, artigos, pósteres e factsheet.

Apresentação oral no congresso – Encontro Nacional Químicas dos Alimentos

Vila Real, Portugal

(9-10-11 outubro 2024)

Evaluation of the use of *Quercus pyrenaica* acorn flour on the physicochemical and nutritional properties of gluten-free pancakes

Mariline Borges ^{1,2}, Volkan Aylanc ^{1,2,3}, Cristiano Mateus ^{1,2}, Lillian Barros ^{1,2}, Miguel Vilas-Boas ^{1,2}, Soraia I. Falcão ^{1,2,*}

¹Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal ²Laboratório Associado para a Sustentabilidade e Tecnologia em Regiões de Montanha (SusTEC), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal ³Departamento de Química e Bioquímica, Faculdade de Ciências, LAQV-REQUIMTE, Universidade do Porto, Porto 4169-007, Portugal

Acorn is a wild fruit with a wide distribution around the world, commonly used as animal feed in many countries.¹ This fruit has emerged as a natural, alternative source of flour in human food due to its nutritional value, bioactive compounds, and glutenfree nature. These qualities make it an advantageous option for the diet of celiac patients,² however, it contains tannins that give an astringent flavor to the food, difficult digestion and absorption of nutrients. In this context, this study aimed to evaluate the production of pancakes from the *Quercus pyrenaica* (Q. Pyrenaica) acorn flour after tannin removal and to investigate the physicochemical and nutritional properties of the final product. The results showed that pancakes produced with different acorn flour percentages (0, 50, 75, 100%. Acorn flour percentages were complemented with rice flour) had an ash content between 4.0 - 5.3%, while the lipid and protein contain vary were between 0.04 - 0.07% and 14.5 - 15.5%, respectively. Moreover, the data showed that the fiber value increased

with the increase of acorn flour, with a maximum of 21%. The most abundant macronutrient in pancakes was carbohydrates, with a maximum content of 78% reached in the control group and a minimum value of 59% with 100% acorn flour. The energy values for the pancakes ranged from 337 to 380 kcal/100 g, with statistically significant among samples. Altogether, the results showed that the proportion of carbohydrates decreased and the proportion of fibre and protein increased with increasing acorn flour. In conclusion, the use of *Q. pyrenaica* acorn flour in food products offers promising opportunities for innovation in the food industry. Its application can contribute to dietary diversification and provide an economically and environmentally sustainable alternative to traditional flours. Further research and development could optimize processing methods to maximize nutritional benefits and consumer acceptance.

Acknowledgements: Thanks to the Foundation for Science and Technology (FCT, Portugal) for a Ph.D. research grant (2021.07764.BD) for Volkan Aylanc, and through the institutional scientific employment program contract with Soraia I. Falcão. Funding: This work was financially supported by the Foundation for Science and Technology (FCT, Portugal) for financial support by national funds FCT/MCTES to CIMO (UIDB/00690/2020 and UIDP/00690/2020) and SusTEC funds (LA/P/0007/2021), for the support through the project ACORNDEW (MTS/SAS/0099/2020).

References:

1. Vinha, A. F., Barreira, J. C. M., Costa, A. S. G., & Oliveira, M. B. P. P. A New Age for *Quercus* spp. Fruits: Review on Nutritional and Phytochemical Composition and Related Biological Activities of Acorns, *CRFSFS*. 15(6) (2016) 947–981.
2. Martins, R. B., Gouvinhas, I., Nunes, M. C., Ferreira, L. M., Peres, J. A., Raymundo, A., & Barros, A. I. R. N. A. Acorn flour from holm oak (*Quercus rotundifolia*): Assessment of nutritional, phenolic, and technological profile, *CRFS*. 5 (2022) 2211–2218.

Apresentação poster no congresso – Farm To Fork

Castelo Branco, Portugal

(16-17-18 novembro 2023)

Characterization of acorn flour from *Quercus pyrenaica*

Author: Borges, M., Mateus, C. G. S., Barros, L., Vilas - Boas, M., Falcão, S. I. –
Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança,
Campus de Santa Apolónia, Bragança, Portugal

Borges, M., Mateus, C. G. S., Barros, L., Vilas - Boas, M., Falcão, S. I. – Laboratório
Associado para a Sustentabilidade e Tecnologia em Regiões de Montanha (SusTEC),
Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, Bragança, Portugal

Citation: Borges, M., Mateus, C.G.S., Barros, L., Vilas-Boas, M., Falcão, S.I.

Acorns are common wild fruits in Portugal, traditionally used as animal feed. Due to its nutritional value, acorns are an excellent alternative in the human diet, with a composition rich in bioactive compounds and, therefore, with potential for industrial application. A notable characteristic of the acorn is the absence of gluten, which can be a source for obtaining gluten-free flour, thus offering other alternatives for celiac patients. In this context, this work aims to study the chemical composition of acorn flour from *Quercus pyrenaica* acorns, obtained by different processes to remove the tannins, which are responsible for introducing an astringent flavour and making digestion difficult. For that, acorns were collected in areas of black oak forest within the Montesinho Natural Park, Bragança, Portugal, in October of 2021 and freeze at -20 °C until processing. The acorns were shelled, and three different treatments were applied: boiling water, soaking in water at room temperature during 20h and oven roasted, at 200 °C for 15 min. After that, the acorns were milled and different nutritional parameters were evaluated such as humidity, ash, protein content, total lipids content, fibers, starch, fatty acids and sugars. A flour obtained from acorns without treatment was also evaluated. The results revealed that the flour obtained by roasting presented lower water content, high content in fibers, proteins and fatty acids. In conclusion, the rich nutritional profile of acorn flour from *Q. pyrenaica* associated with the fact of being a gluten free product, opens good opportunities of applying the acorn flour in innovative products in the food industry.

Acknowledgments

The authors are grateful to the Foundation for Science and Technology (FCT, Portugal) for financial support by national funds FCT/MCTES to CIMO (UIDB/00690/2020), for the support through the project ACORNDEW (MTS/SAS/0099/2020) and through the institutional scientific employment program contract with Soraia I. Falcão.



our food. our health. our future

Characterization of acorn flour from *Quercus pyrenaica*

Borges, M.^{1,2}; Mateus, C.G.S.^{1,2}; Barros, L.^{1,2}; Vilas-Boas, M.^{1,2}; Falcão, S.I.^{1,2*}

¹ Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253, Bragança, Portugal
² Laboratório Associado para a Sustentabilidade e Tecnologia em Regiões de Montanha (SUS-TEC), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal
* sfalcao@ipb.pt



Theme VII

Introduction

Acorns:

- o Common fruit in Portugal,
- o Used as animal feed.

At a nutritional level:

- o Constitutes an excellent alternative in the human diet,
- o Rich in bioactive compounds
- o Gluten free

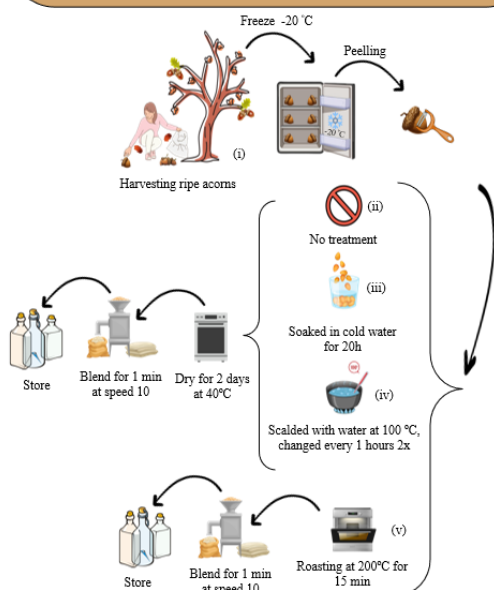
With industrial potential:

- o Source for obtaining gluten-free flour,
- o Alternative for celiac patients.

Methodology

Assessment of the chemical and nutritional composition, moisture, ash, protein content, total lipids, fiber, starch and fatty acids of acorn flour from *Quercus pyrenaica*, obtained by different treatments, for tannin removal, responsible for introducing astringent taste and make digestion difficult.

The acorns were collected in Montesinho Natural Park, Bragança, Portugal, in October 2021.

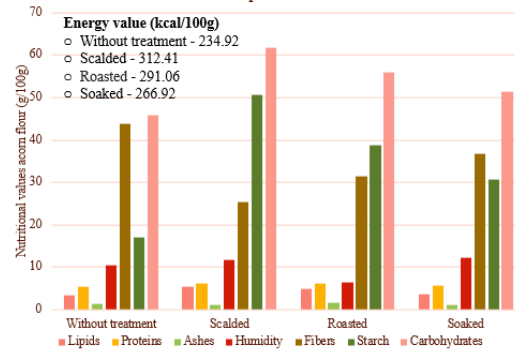


Results & Discussion

The table presented the percentage of fatty acids present in acorn flour with and without tannin removal treatments. The graph represents their nutritional values.

Type of treatment	Fat acids (%)					
	Butyric acid	Palmitoleic acid	Stearic Acid	Oleic acid	Linoleic acid	α-Linolenic acid
Without treatment	96,08	0,64	0,12	2	0,949	0,08
Scalded	93,2	1,21	0,17	3,48	1,6	0,11
Roasted	90,23	1,71	0,21	4,9	2,47	0,16
Soaked	95,13	0,89	0,11	2,39	1,21	0,08

Nutritional composition of acorn flour



The flour obtained by roasting contained a lower moisture content, higher fiber, protein content and lower calorie content. It has more essential fatty acids, which perform important functions in the body.

Conclusion

In conclusion, the rich nutritional profile of *Q. pyrenaica* acorn flour associated with the fact that it is a gluten-free product, opens up good opportunities for the application of acorn flour in innovative products in the food industry.

Characterization of acorn flour from *Quercus pyrenaica* obtained through different methods

Mariline Borges ^{1,2}, Cristiano G. S. Mateus ^{1,2}, Volkan Aylanc ^{1,2,3}, Tiane C. Finimundy ^{1,2},

Lillian Barros ^{1,2}, Miguel Vilas-Boas ^{1,2,*}, Soraia I. Falcão ^{1,2,*}

¹ *Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal*

² *Laboratório Associado para a Sustentabilidade e Tecnologia em Regiões de Montanha (SusTEC), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal*

³ *Departamento de Química e Bioquímica, Faculdade de Ciências, LAQV-REQUIMTE, Universidade do Porto, Porto 4169-007, Portugal*

ABSTRACT

Acorn is a wild fruit with a wide distribution around the world and is used as animal feed in many countries. This fruit is a natural product that has emerged as an alternative source of flour in human food due to its nutritional value and content of bioactive compounds, as well as its gluten-free character, which makes it an advantageous alternative for the diet of celiac patients. However, contains tannins that give an astringent flavor to the food, difficult digestion and absorption of nutrients. In this context, the objective of this work was the characterization of acorn flours of *Quercus pyrenaica* (*Q. Pyrenaica*) with different tannin removal processes. For this, the acorns were peeled and separated into 4 groups (three of them with treatments for tannin removal and one group without treatment): which were untreated acorns, scalded, soaked, and roasted. After each treatment were transformed into flour and evaluated in different nutritional parameters, such as moisture, ash, protein content, total lipid content, fiber, starch, fatty acids, sugars and phenolic compounds. The results showed that the flour obtained by roasting had a lower water content, a

high content of fiber, proteins and fatty acids, however, the flour with the treatment of scalding was the most advantageous for human consumption due to its lower content of phenolic compounds. In conclusion, the rich nutritional profile of *Q. pyrenaica* acorn flour, combined with the fact that it is a gluten-free product, opens up good opportunities for the application of acorn flour in innovative products in the food industry.

KEYWORDS: Acorn, black oak, flour, gluten-free flour, nutritional value, bioactive compounds

Acknowledgements: Thanks to the Foundation for Science and Technology (FCT, Portugal) for a Ph.D. research grant (2021.07764.BD) for Volkan Aylanc, and through the institutional scientific employment program contract with Soraia I. Falcão. Funding: This work was financially supported by the Foundation for Science and Technology (FCT, Portugal) for financial support by national funds FCT/MCTES to CIMO (UIDB/00690/2020 and UIDP/00690/2020) and SusTEC funds (LA/P/0007/2021), for the support through the project ACORNDEW (MTS/SAS/0099/2020).



🌐 Type of solution: Technology 🌐 Sector: Agroforestry, Forestry
🌱 Good practice(s): Management alternatives, Financing, Protection against biotic and abiotic hazards

The potential of the Pyrenean oak acorn as a source of gluten-free flour

Impact of different tannin removal processes on the Pyrenean acorn flour characteristics.



Quercus Pyrenaean
Author: Soraia Falcão | © Educational use, non-commercial.



Acorn flour
Author: Volkan Aylanc | © Educational use, non-commercial.

/// Context ///

The acorn is a wild fruit widely distributed throughout the world and commonly used as animal feed. The Pyrenean oak (*Quercus pyrenaica*) is one of the main components of the Portuguese forest. It is one source of acorns, which can be used for the development of several human food products, depending on the characteristics of the acorn flour obtained.

An important aspect related to acorns is the amount of tannins present, that can imply an astringent flavor, making it difficult to digest and absorb nutrients. Different types of treatments were tested in the acorns (three with tannin removal treatments and one without removal): untreated, blanched, soaked and roasted. After each treatment they

were processed into flour and assessed for different nutritional parameters such as moisture, ash, protein content, total lipid content, fiber, starch, fatty acids, sugars and phenolic compounds.

The results showed that the flour obtained by roasting had a lower water content, a high content of fiber, proteins and fatty acids. However, the flour with the treatment of scalding was the most advantageous for human consumption due to its lower content of phenolic compounds. In conclusion, the rich nutritional profile of *Q. pyrenaica* acorn flour, combined with the fact that it is a gluten-free product, opens up good opportunities for the application of acorn flour in innovative products in the food industry.

/// Solution for a Resilient Future ///

Acorns, characterized by their astringent flavor due to a high tannin content, were utilized in powdered form for consumption as an alternative to conventional flours. In the case of these fruits, which were roasted and cooked, various processing methods such as heating, leaching, or intricate detoxification techniques involving the use of clay were employed to eliminate tannins. On the other hand, sweet acorns were directly consumed without undergoing tannin removal processes.

According to the literature, acorn flour is obtained from the embryo, discarding the pericarp and dome. The embryo is subjected to a drying and crushing process to remove moisture, thus offering greater stability to the product. However, acorns have a high tannin content, which in addition to introducing an astringent flavor to the flour, also has anti-nutritional properties, making digestion difficult and may cause damage to the intestinal epithelium, liver and kidney tissues. That being said, the removal of these compounds from the flour is essential to obtain acorn flour rich in minerals, and fiber. For the removal of these compounds, the acorns were previously peeled and

separated into 4 groups, 3 of which underwent tannin removal processes, and the remaining group received no treatment.

The acorn samples were collected in their mature state, and the location of their harvest was in Portugal, in Aldeia Prada, Vinhais (Montesinho Natural Park) in October 2021. These were frozen at -20 °C until the day of use. The pericarp and dome were removed, after which they were separated into four groups. One group was left untreated and the remaining was divided into three groups and were subjected to different types of treatment processes, namely soaked, scalding, and roasting to be evaluated at a later nutritional level

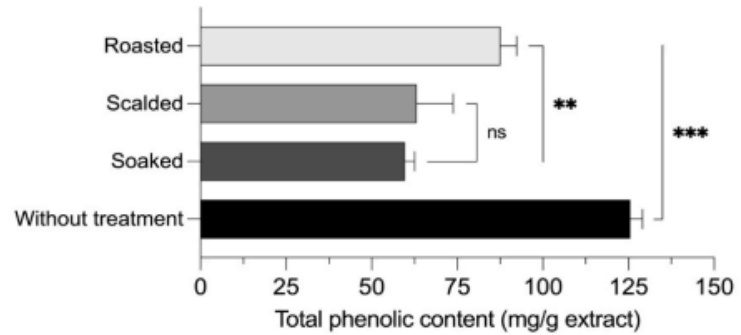
In the immersion treatment, the acorns were placed in water at room temperature for 20 hours. In the scalding treatment, the acorns were immersed in boiling water at 100 °C for 1 hour. For roasting treatment, the acorns were submitted to an oven (Becken, Worten Equipamentos, Portugal) preheated to 200 °C for 15 minutes. Subsequently, the acorn samples, excluding those with roasting treatment and including those without treatment, were dried collectively in

an oven (Memmert UNE400, Schwabach, Germany) at 40 °C for 3 days. After drying, all samples, including the roasted ones, were submitted to grinding for 1 minute at speed 10 using a laboratory mixer (Bimby, Thermomix Company, Germany) and subsequently stored at room temperature for further analysis.

The tannins (within the phenolic compounds) for untreated acorn flour samples, as expected, obtained a higher content of phenolic compounds (125.5 ± 3.6 mg/g), while the scalded acorn flour samples had the lowest content of phenolic compounds with the value of 63.1 ± 10.7 mg/g.



Acorn *Quercus Pyrenean*
Author: Soraia Falcão | © Educational use, non-commercial.



Total phenolic content
Author: GraphPad Prism versão 9.3 | © Educational use, non-commercial.

/// Always Moving Forward ///

About 1% of the world's population with gluten intake have an autoimmune celiac disease. Utilizing these fruits for human consumption proves advantageous from both an economic and sustainable standpoint. Also, given the prevailing trend of population escalation, diversification of food sources is important to avert resource scarcity. The acorn, a valuable by-product of forests, remains underappreciated despite its potential significance. Other food products are being developed from the acorn flour such as gluten-free pancakes.

Acorn oil was also extracted and characterized, but the process of extraction has proven to be difficult reaching low yields. Due to the rich nutritional composition shown by the acorn oil, the process for obtaining it was optimized. Different methodologies were tested such as cold-pressing and solvent extraction. Although cold-pressing methodology is described to retain more the oil's raw properties, the yield obtained was very low. For solvent extraction, two

methodologies were tested, soxhlet and ultra-sound extraction. A higher yield, approximately of 5%, was obtained with the soxhlet extraction. After the extraction the composition in fatty acids and vitamin E were evaluated with the oil obtained through the soxhlet extraction presenting a higher content of these compounds.

The low yield obtained is one of the several challenges related to acorn oil production, because acorns, generally contain low amounts of oil compared to other nuts, turning the extraction less efficient and less economically viable. Although solvent extraction presented a higher yield when comparing to the cold-pressing methods, it may not be desirable for producers aiming for natural, organic, or health-focused markets, where cold-pressed oils are preferred. For future work, new methods to extract oil should be tested, such as apply a roasting treatment before the extraction or use expeller pressing methodologies.

Further information

- Acorn Dew project website. <https://www.isa.ulisboa.pt/proj/acorn Dew/> (Accessed 22 September 2024) (In Portuguese)
- WildFood project website. <https://wildfood.ctfc.cat/> (Accessed 12 July 2024)
- Youssef B.B. 2022. Valorization of acorn from oak (*Quercus pyrenaica*) through chemical and nutritional evaluation. Ph.D. Thesis, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal. <https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/28267>

Acknowledgment / Contribution

The authors are grateful to the Foundation for Science and Technology (FCT, Portugal) for financial support to the project ACORNEW (MTS/SAS/0099/2020).



Authors: Marilene Borges, Soraia Falcão
Partners: ISA – Instituto Superior De Agronomia



Co-funded by the European Union
Co-funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or European Research Executive Agency (REA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

Project co-funded by



Copyright by ISA



creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0

Learn more



www.resalliance.eu

facebook.com/resalliance.eu

linkedin.com/company/resalliance-project

