

Concentração nos alimentos e ação biológica dos compostos antinutricionais: Uma revisão

Concentration in food and biological action of antinutritional compounds: A review

Concentración en alimentos y acción biológica de compuestos antinutricionales: Una revisión

Recebido: 29/03/2024 | Revisado: 10/04/2024 | Aceitado: 11/04/2024 | Publicado: 15/04/2024

Araceles Barbosa Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7533-4792>

Universidade Federal da Bahia, Brasil

E-mail: aracelesboliveira@gmail.com

Eduardo Bruno Macêdo Viana

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2224-7429>

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil

E-mail: ebmviana@gmail.com

Jéssica Souza Ribeiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6973-0149>

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Brasil

E-mail: jessica.ribeiro@ufbr.edu.br

Cassara Camelo Eloi de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1811-6143>

Universidade Federal da Bahia, Brasil

E-mail: cassara@ufba.br

Marcia Elena Zanuto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7318-0557>

Universidade Federal da Bahia, Brasil

E-mail: mzanutto@hotmail.com

Resumo

Os compostos antinutricionais são produzidos pelo metabolismo secundário das plantas, apresentam diversas funções, entre elas a de proteger contra ataques de predadores. Essas substâncias podem diminuir a biodisponibilidade de nutrientes, afetar a digestibilidade de proteínas, bem como acarretar efeitos tóxicos ao organismo quando consumidos em excesso. Entretanto, além de efeitos prejudiciais, alguns desses fitoquímicos também podem apresentar efeitos benéficos à saúde humana. Esta revisão tem o objetivo de apresentar dados sobre a presença e o teor de antinutrientes em vegetais e também relatar efeitos funcionais de alguns destes compostos. O presente trabalho trata-se de uma revisão integrativa, a qual foi realizada a busca nas bases de dados eletrônicos Science Direct, Google Acadêmico e Portal de Busca Integrada da Universidade de São Paulo, reunindo artigos que abordassem a concentração de compostos antinutricionais em alimentos vegetais utilizados na alimentação humana. Os antinutrientes mais abundante nos alimentos avaliados foram os fitatos, seguido dos taninos, oxalatos, saponinas, inibidores de proteases (incluindo inibidores de tripsina), nitratos, glicosídeos cianogênicos, carboidratos não digeríveis (rafinose, estaquiase e verbascose) e glucosinolatos. Esta revisão apresentou dados importantes sobre a presença e o teor de compostos antinutricionais em vegetais *in natura* e processados, destacando a ocorrência de fitatos, taninos e oxalatos. As pesquisas apontaram efeitos prejudiciais e também ações benéficas dos compostos, entretanto, o potencial destas moléculas ainda precisa ser investigado para elucidar seus efeitos benéficos na saúde humana e suas aplicações.

Palavras-chave: Ciência dos alimentos; Composição de alimentos; Revisão.

Abstract

Antinutritional compounds are produced by the secondary metabolism of plants and have several functions, including protecting against predator attacks. These substances can reduce the bioavailability of nutrients, affect the digestibility of proteins, as well as cause toxic effects to the body when consumed in excess. However, in addition to harmful effects, some of these phytochemicals may also have beneficial effects on human health. This review aims to present data on the presence and content of antinutrients in vegetables and also report functional effects of some of these compounds. The present work is an integrative review, in which a search was carried out in the electronic databases Science Direct, Google Scholar and the Integrated Search Portal of the University of São Paulo, bringing together articles that addressed the concentration of antinutritional compounds in plant foods. used in human nutrition. The most abundant antinutrients in the foods evaluated were phytates, followed by tannins, oxalates, saponins, protease inhibitors (including trypsin inhibitors), nitrates, cyanogenic glycosides, non-digestible carbohydrates (raffinose, stachyose and verbascose) and

glucosinolates. This review presented important data on the presence and content of antinutritional compounds in fresh and processed vegetables, highlighting the occurrence of phytates, tannins and oxalates. Research has shown harmful effects and also beneficial actions of the compounds, however, the potential of these molecules still needs to be investigated to elucidate their beneficial effects on human health and their applications.

Keywords: Food science; Food composition; Revision.

Resumen

Los compuestos antinutricionales se producen por el metabolismo secundario de las plantas y tienen varias funciones, incluida la protección contra los ataques de los depredadores. Estas sustancias pueden reducir la biodisponibilidad de los nutrientes, afectar la digestibilidad de las proteínas y provocar efectos tóxicos en el organismo cuando se consumen en exceso. Sin embargo, además de los efectos nocivos, algunos de estos fitoquímicos también pueden tener efectos beneficiosos para la salud humana. Esta revisión tiene como objetivo presentar datos sobre la presencia y contenido de antinutrientes en vegetales y también informar los efectos funcionales de algunos de estos compuestos. El presente trabajo es una revisión integradora, en la que se realizó una búsqueda en las bases de datos electrónicas Science Direct, Google Scholar y el Portal de Búsqueda Integrada de la Universidad de São Paulo, reuniendo artículos que abordaron la concentración de compuestos antinutricionales en alimentos vegetales. utilizado en la nutrición humana. Los antinutrientes más abundantes en los alimentos evaluados fueron los fitatos, seguidos de los taninos, oxalatos, saponinas, inhibidores de proteasas (incluidos los de tripsina), nitratos, glucósidos cianogénicos, carbohidratos no digeribles (rafinosa, estaquiosa y verbascosa) y glucosinolatos. Esta revisión presentó datos importantes sobre la presencia y contenido de compuestos antinutricionales en vegetales frescos y procesados, destacando la aparición de fitatos, taninos y oxalatos. Las investigaciones han demostrado efectos nocivos y también acciones beneficiosas de los compuestos; sin embargo, aún es necesario investigar el potencial de estas moléculas para dilucidar sus efectos beneficiosos sobre la salud humana y sus aplicaciones.

Palabras clave: Ciencia de los alimentos; Composición de los alimentos; Revisión.

1. Introdução

Os alimentos de origem vegetal apresentam diversos benefícios à saúde e nutrição humana por serem ricos em micro e macronutrientes, bem como por se constituírem como boas fontes de fibras dietéticas. Entretanto, esses alimentos também podem apresentar compostos denominados de fatores antinutricionais, que são capazes de impactar a saúde de forma negativa (Astley & Paul, 2016) por apresentarem efeitos fisiológicos indesejáveis, como a redução da absorção de nutrientes (Coscueta et al., 2023).

Os fatores antinutricionais, também conhecidos como antinutrientes, são compostos presentes em leguminosas, cereais e hortaliças, oriundos do metabolismo secundário das plantas (Higashijima et al., 2020). Esses compostos podem formar complexos insolúveis com minerais presentes nos alimentos, como os oxalatos, que se ligam ao cálcio, e os fitatos, que se ligam ao ferro, ao zinco e ao cobre e impedem sua absorção pelo organismo. Esses compostos também podem impedir a atividade enzimática, como os inibidores de protease, que prejudicam a digestão de proteínas e, conseqüentemente, a absorção de aminoácidos; ou causarem prejuízo na digestão dos carboidratos pela ação dos inibidores de amilase, impedindo a sua absorção pelo organismo. Desta forma, estes compostos afetam a biodisponibilidade de nutrientes, além de poderem oferecer risco de toxicidade se ingeridos em alta quantidade (Benevides et al., 2011; Astley & Paul, 2016).

Diante disso, é importante diminuir o teor de antinutrientes nos alimentos para reduzir a interferência nutricional que podem causar, e alguns métodos de preparação possuem essa eficácia, como, por exemplo, a cocção sob pressão, fervura, imersão (remolho), aquecimento, fermentação, brotação e até mesmo o descascamento, também são eficazes contra os agentes antinutricionais (Arise et al, 2022). O benefício da redução de compostos antinutricionais se dá tanto para o consumo do vegetal *in natura* quanto para a obtenção de produtos à base de cereais e de leguminosas, como farinhas e bebidas simbióticas, podendo se apresentarem como boas alternativas no combate da desnutrição e insegurança alimentar (Chaturvedi & Chakraborty, 2021).

Para se beneficiar das propriedades oferecidas pelos vegetais e enriquecer os produtos alimentícios, a fim de manter uma alimentação mais saudável, é fundamental conhecer a composição dos alimentos, inclusive no que tange à presença desses

constituintes minoritários, compreendendo os seus diversos efeitos sobre a saúde humana e as técnicas que podem ser empregadas para a sua modulação (Udomkun et al., 2019).

O objetivo deste trabalho foi colaborar com dados sobre a concentração de compostos antinutricionais em alimentos, além de indicar algumas de suas ações biológicas.

2. Fatores Antinutricionais ou Antinutrientes

Taninos

Os taninos são compostos fenólicos comumente encontrados em gimnospermas e angiospermas, constituídos por um grupo muito diversificado de oligômeros e polímeros. São hidrossolúveis, com exceção de algumas estruturas de maior peso molecular. Esses compostos são considerados nutricionalmente indesejáveis porque precipitam proteínas, inibem enzimas digestivas, reduzem a digestibilidade da proteína e afetam a utilização de vitaminas e minerais. Os taninos possuem a capacidade de ligação ao ferro não-heme e isso pode torná-lo indisponível para absorção no trato gastrointestinal (Ram et al., 2020; Munialo et al., 2023).

Algumas técnicas são tradicionalmente utilizadas para redução do teor de taninos nos alimentos. O processo de descortiçamento, que consiste na quebra e remoção das cascas dos grãos, reduziu em 96% a concentração desses compostos no feijão caupi; o aquecimento em água por 30 minutos, removeu cerca de 38 a 76% dos taninos e a maceração em solução de NaOH 1N, diminuiu em 70% os taninos presentes em leguminosas (Lumen & Salamat, 1980; Chang et al., 1994). Ressalta-se que, submeter os vegetais ao processamento térmico, mergulhando-os previamente em água ou solução salina, reduz os teores de taninos, desde que a água utilizada para este fim seja descartada antes da cocção (Liener, 1994).

A redução de antinutrientes por tratamento com fermentação usando bactérias ácido lácticas (*Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus casei* e *Lactobacillus brevis*) combinada com imersão em solução de NaOH na concentração de 0,03 M até 0,09 M e durante cerca de 4 a 8 h, promoveu a redução de taninos de 6,16% para 0,06% em grãos de sorgo (Gunawan et al., 2022).

Por outra perspectiva, é importante salientar que os taninos também possuem alta capacidade antioxidante e propriedades tecnológicas na indústria de alimentos, com destaque na produção de vinhos, fornecendo estabilidade da cor e adstringência (Weilack, 2023).

Saponinas

As saponinas são metabólitos secundários vegetais com grande diversidade estrutural e funcional, e conferem sabor amargo e adstringente (Yu et al, 2022). Sua estrutura é composta por uma porção de agliconas hidrofóbicas, esteroides ou triterpenos, e por uma porção hidrofílica de carboidrato glicano. São produzidas naturalmente como triterpeno ou glicosídeos, com propriedades espumantes e, por sua natureza anfipática, também podem atuar como emulsificantes (Kiranmayi, 2014).

As saponinas triterpenoides são encontradas na maioria das culturas cultivadas, como leguminosas, sementes de girassol, folhas de espinafre, folhas de chá, quinoa, beterraba e alho. Já as saponinas esteróides estão geralmente presentes na aveia, mandioca, sementes de tomate, sementes de feno-grego, aspargos, berinjela e inhame (Ridout et al. 1991; Moses et al. 2014).

As saponinas têm a propriedade de interagir com o grupo de colesterol das membranas eritrocitárias, o que leva à hemólise (Fleck et al. 2019). Vinarova e colaboradores (2015) relataram que as saponinas diminuem bioacessibilidade do colesterol e dos ácidos graxos saturados, pois acontece o deslocamento das moléculas de colesterol das micelas dos sais biliares, levando à formação de precipitados que não passam pela camada mucosa do intestino, afetando a digestão de lipídeos.

A purificação da proteína da soja por extração aquosa ou alcoólica leva à redução do teor de polissacarídeos não amiláceos, incluindo fibras e saponinas, e aumenta o seu valor nutricional. O tratamento com água acidificada em pH 1,0, seguido por lavagem em etanol P.A., auxilia na retirada de saponinas do farelo de soja (Bergamin, 2013).

Por outro lado, um estudo revelou que saponinas extraídas da raiz tuberosa de *Decalepis hamiltonii* possuem excelentes atividades antioxidante e antibacteriana, principalmente contra bactérias gram-positivas (*Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus epidermidis* e *Micrococcus luteus*), e bactérias gram-negativas (*Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, *Proteus mirabilis* e *Klebsiella pneumonia*). Além disso, apresentam atividade antitrombótica *in vitro* e anticancerígena (Gitanjali, 2023).

Oxalatos

Em plantas, o acúmulo de ácido oxálico representa reservas de cálcio, na forma de oxalato de cálcio, que acontece de forma natural, contribuindo com as funções fisiológicas da espécie vegetal e regulando sua concentração, que é essencial para o desenvolvimento inicial do vegetal (Volk et al., 2002; Huynh et al., 2022).

Assim, o oxalato é um íon que se encontra nos vegetais e tem capacidade de se ligar ao cálcio. Quando consumido em excesso, pode formar cristais insolúveis na urina, causando prejuízos ao sistema urinário e formando cálculos renais, principalmente se associado a uma ingestão inadequada de água. Além disso, alimentos que apresentam elevados teores desse íon podem afetar a biodisponibilidade do cálcio no organismo, reduzindo sua absorção intestinal quando são consumidos concomitantemente. É comumente encontrado em vegetais tais como como tomate, jiló, batata doce, folhas de brócolis, couve e couve-flor (Santos, 2006; Pinheiro et al., 2021).

Alguns estudos mostram métodos úteis para a redução de oxalatos nos alimentos como o tratamento térmico pelo cozimento de alguns vegetais, a exemplo do brócolis, couve-flor e couve, com descarte da água de cozimento (Santos, 2006). O cozimento resulta na lixiviação do complexo com cálcio e diminui o composto na matriz vegetal, tornando-a segura para consumo, como no caso da taioba (Araújo et al., 2019).

Fitatos

Os fitatos representam uma classe complexa de componentes naturais que ocorrem principalmente em cereais e leguminosas. A maior parte dos grãos de leguminosas contém esse composto, que possui a função de armazenar o fósforo (Maga, 1982). Esse grupo de compostos representa importante papel como antinutrientes, pois a forte quelação com íons minerais que eles promovem afeta a biodisponibilidade de cálcio, ferro, cobre e zinco e pode ocasionar a deficiência desses minerais (Domene et al., 2008; Kiewlicz et al., 2020).

Alguns métodos como a maltagem, a moagem e a fermentação, maceração com descarte da água e cocção podem ser usados para reduzir o nível de fitatos nos cereais como sorgo, milho, milheto e feijão-comum, nos quais mostraram efeitos satisfatórios, melhorando as propriedades nutricionais e funcionais desses cereais (Oliveira et al., 2001; Atuna, 2022). Além disso, os fitatos podem ser reduzidos através do descascamento de grãos, pois encontram-se concentrados nas cascas desses vegetais, porém, esse método pode reduzir significativamente a oferta de fibras (Piyaratne et al., 2009; Pacheco et al., 2012).

É importante ressaltar que os fitatos também podem apresentar efeito anticarcinogênico e antioxidante, demonstrando inibir o crescimento e a progressão das células do câncer de mama pela modulação das principais vias de sinalização envolvidas no desenvolvimento da doença, como PI3K/Akt, MAPK e NF- κ B (Shukla et al., 2023). Além disso, podem auxiliar no tratamento de diabetes, através da ação inibidora de α -amilases (Silva & Silva, 1999). Dados epidemiológicos ainda sugerem que dietas ricas em fitato estão associadas a uma menor incidência de calcificação cardiovascular em idosos e também pode beneficiar

pacientes com doença renal, por prevenir a formação de cristais de hidroxiapatita constituídos por fosfatos de cálcio (Joubert et al., 2016).

Nitrito e Nitrato

O nitrito e o nitrato são utilizados com função conservante na formulação de embutidos, inibindo o crescimento de bactérias deteriorantes e patogênicas, como *Clostridium botulinum*, *Clostridium perfringens*, *Bacillus cereus* e *Staphylococcus aureus* (Dong & Tu, 2006; Hospital et al., 2016; Veken et al., 2023). Também contribuem para a qualidade sensorial de produtos, conferindo cor vermelha e rósea, sabor típico de curado e textura (Marco et al., 2006). Também apresentam características antioxidantes capazes de proteger os lipídios da oxidação (Berardo et al., 2016). Entretanto, o consumo frequente de produtos cárneos curados é reconhecido mundialmente como um fator de risco para o desenvolvimento de neoplasias, após alerta da OMS (Organização Mundial da Saúde) baseado na classificação da carne curada com nitrito como cancerígena do Grupo 1 pela IARC (*International Agency for Research on Cancer*), devido à degradação desses compostos no trato gastrointestinal (International Agency for Research on Cancer, 2018; Johnston et al., 2019).

Nitrito e nitrato são capazes de reagirem com compostos endógenos presentes na carne, levando à síntese de compostos N-nitrosos (NOCs). Os NOCs interagem com substâncias oxidativas e com o ambiente, como a N-nitrosação promovida por um ambiente ácido, onde aminas secundárias reagem com íons nitrosênio para formar nitrosaminas (Pomélie et al., 2018). O óxido nítrico também reage com o ferro heme, formando o ferro heme nitrosilado, também chamado de nitrosilheme (Keuleyan et al., 2022), que pode causar efeitos toxicológicos na digestão humana. O ferro livre, resultante da liberação pelo heme, catalisa a oxidação lipídica no intestino, em que a reação em cadeia leva à síntese de aldeídos citotóxicos (Gueraud et al., 2015).

Foi demonstrado que as reações de nitrosação, formando nitrosaminas, podem ser inibidas por compostos antioxidantes de vegetais, como ácido L-ascórbico e polifenóis (Rocha et al., 2014; Habermeyer et al., 2015). Assim, pode ser benéfico adicionar vegetais ricos em antioxidantes e fitoquímicos aos produtos cárneos processados, como demonstrado por o Nicklas et al (2023) que adicionaram emulsão de espinafre (*Spinacia oleracea L*) em salsichas e relataram amenizar a formação de nitrosaminas voláteis.

Os nitritos e nitratos também podem aparecer em altas concentrações nos vegetais devido ao uso indiscriminado de fertilizantes químicos que levam a contaminação da água subterrânea. A fertilização com N em excesso permite a lixiviação pelo solo e a consequente contaminação dos lençóis freáticos (Carvalho & Zabout, 2012; Hosseini et al., 2023).

Glicosídeos cianogênicos

Os glicosídeos cianogênicos são toxinas vegetais produzidas naturalmente, sensíveis ao calor e solúveis em água, com ampla distribuição entre as espécies do reino vegetal, que conferem sabor amargo e quando exposto à umidade desenvolvem um aroma característico de cianeto (Lee et al., 2013).

O consumo de alimentos contendo compostos cianogênicos pode causar problemas de saúde agudos e subagudos em humanos, como dor de cabeça, náusea, vômito, cólicas abdominais, tontura, fraqueza, insuficiência respiratória e a morte em alguns casos extremos (Bolarinwa et al., 2014), pois produzem cianeto de hidrogênio por reação de hidrólise, um potente inibidor respiratório (Tanwar et al., 2018). O ácido cianídrico pode levar à intoxicação, pois inibe a atividade de metaloenzimas, principalmente citocromo C oxidase, no final na cadeia transportadora de elétrons (Gleadow & Moller, 2014). É, também, prejudicial ao sistema reprodutivo e neural (Mosayyebi et al., 2020).

Alguns alimentos em que estão presentes os glicosídeos cianogênicos são sementes de ameixa, damasco e raízes de mandioca. São exemplos de glicosídeos cianogênicos a linamarina e a lotaustralina, encontrados na mandioca, e a amigdalina, encontrada no caroço de damasco e de ameixa (Sheikh et al., 2022; Zhong, 2021; Zhang et al., 2022).

Alguns métodos são utilizados para remover ou reduzir os glicosídeos cianogênicos dos alimentos como: descascar, esmagar, moer, ralar, secar, imergir em água e aquecer por micro-ondas. A combinação das duas últimas técnicas tem se mostrado uma alternativa promissora aos métodos convencionais de desintoxicação, trazendo modificações ao perfil nutricional por melhorar a digestibilidade, produzir compostos de sabor mais desejáveis e manter os níveis de cor externa equivalentes (Sheikh et al., 2022).

Por outro lado, a amigdalina, um glicosídeo cianogênico natural derivado de plantas, possui o benefício de apresentar atividade anticancerígena, pois demonstra exercer um efeito citotóxico nas células cancerígenas, afetando o ciclo celular, induzindo a apoptose e regulando o sistema imunológico. Porém, para a sua potencial aplicação profilática no câncer é necessário mais investigações (Cecarini et al., 2022).

Glucosinolatos

Os glucosinolatos, ou glicosinolatos, são importantes metabólitos secundários amplamente encontrados em plantas da família Brassicaceae (ou Cruciferae), e podem ser derivados do triptofano, de aminoácidos alifáticos, de tirosina ou de fenilalanina (Yue et al., 2023). São encontrados em vegetais crucíferos ou brássicas, como brócolis, couve-flor, agrião e mostarda preta, canola e colza, repolho, couve, rabanete e nabo (Mohn et al., 2007; Mocniak et al., 2023).

Esses compostos são um grupo de glicosídeos, caracterizado pelo sabor forte e amargo, derivados do metabolismo de aminoácidos. Podem ser divididos em três grupos: alifáticos, aromáticos e indólicos (Castro et al., 2023). A quantidade de glucosinolatos nos vegetais é responsável por sua adstringência, amargor e toxicidade (Ferreira, et al., 2008). Entretanto, alguns tratamentos possibilitam a redução da quantidade de glucosinolatos como a imersão em água, descascamento, fermentação e cozimento, como evidenciado em estudo utilizando sementes de *Moringa oleifera* (Saa et al., 2022).

Ressalta-se que os glucosinolatos têm atraído interesse significativo devido às propriedades quimiopreventivas de alguns de seus produtos de transformação (Mohn et al., 2007). A moringa (*Moringa oleifera*) por exemplo, tem mostrado propriedades profiláticas e terapêuticas, quimiopreventivos e anticâncer, devido a sua composição fitoquímica ampla, principalmente pela presença de glucosinolatos, encontrados na polpa das sementes, tegumentos, raízes e folhas, que através de clivagens hidrolíticas, geram os isotiocianatos que induzem a parada do ciclo celular, importante no tratamento de neoplasias. Esses compostos também apresentam propriedades bioativas como a sua ação hipoglicemiante, anti-inflamatória e antioxidante, que ocorrem através de mecanismos decorrentes da formação dos isotiocianatos (Maldini et al., 2014; Paixão, 2022).

Glicoalcalóides

Os glicoalcalóides são metabólitos secundários produzidos pelas plantas com a função de auxiliar na proteção contra patógenos e pragas. São uma classe de produtos naturais que formam complexos a partir de uma aglicona esteróide, contendo nitrogênio, acoplada a uma ou mais unidades sacarídicas ligadas na proporção de 1:1 com 3- β -hidroxiesteróis, como o colesterol, que causa ruptura da membrana celular (Nepal & Stine, 2023).

São encontrados principalmente na batata, membro da família *Solanaceae*, que a produz durante o crescimento e após colheita, com a predominância de α -solanina e α -chaconina (Machado & Toledo, 2004).

Em altas concentrações, os glicoalcalóides possuem ação tóxica sobre o organismo humano e afetam o sistema nervoso central e as membranas celulares do trato gastrointestinal, provocando sintomas digestivos (Nepal & Stine, 2019). As altas concentrações desses compostos são encontradas em batatas de cor esverdeada, com pontos pretos e danificadas, e o cozimento não proporciona redução significativa. Por isso, o consumo destes vegetais nestas condições deve ser evitado (Bushway & Ponnampalam, 1981; Machado & Toledo 2004).

Entretanto, alguns glicoalcalóides, como a α -tomatina, encontrada em tomates verdes, são investigados por suas atividades biológicas benéficas à saúde, tendo apresentado propriedades antiviral, fungicida, antibiótica, por inibição da acetilcolinesterase ou da butirilcolinesterase, e por causar ruptura da membrana celular dos patógenos (Faria-Silva et al., 2022). Esses glicoalcalóides também podem promover efeito anti-inflamatório e anticarcinogênico. A α -tomatina induziu a citotoxicidade contra células de neuroblastoma humano *in vitro*, bem como a α -solamargina e α -solasonina que também mostraram exercer forte atividade citotóxica contra células tumorais HCT-8 (carcinoma ileocecal humano) (Li et al., 2007; lanteri et al., 2023). Segundo Ding et al (2013), os glicoalcalóides isolados solasonina, β 1-solasonina, solamargina e solanigrosídeo P apresentam citotoxicidade para células MGC-803 (câncer gástrico humano).

Lectinas

Lectinas são proteínas capazes de se ligarem a carboidratos de forma reversível, por meio de sítios de ligação específicos, sem alterar a estrutura covalente das ligações glicosídicas dos sítios. Por meio dessas ligações, as lectinas são capazes de aglutinar hemácias e, por isso, também são chamadas de hemaglutininas. São encontradas, principalmente, nos grãos de leguminosas como, por exemplo, ervilha, feijão, lentilha e soja (Barroso et al, 2013).

As lectinas vegetais têm a capacidade de sobreviver à digestão pelo trato gastrointestinal dos consumidores, permitindo que se liguem aos grupos glicosil da membrana das células intestinais. Então, ocorre sua interação com a superfície epitelial e são causados efeitos adversos, às vezes chamados de intoxicação alimentar (Oliveira & Vasconcelos, 2004; Muramoto, 2017). Danificam membranas epiteliais, interferem na digestão e absorção de nutrientes, estimulam mudanças na microbiota e modulam o estado imunológico do trato digestivo. Além disso, podem interromper o metabolismo de macronutrientes, como lipídios, carboidratos e proteínas, promovendo o aumento ou atrofia de órgãos e tecidos internos e alterando o estado hormonal (Oliveira & Vasconcelos, 2004).

A atividade das lectinas é influenciada por condições de pH e tratamentos térmicos, sendo a desnaturação das mesmas usualmente obtida por métodos tradicionais de preparo doméstico ou processamento industrial dos alimentos (Barroso et al, 2013). Assim, algumas técnicas utilizadas para redução das lectinas nos alimentos são a fermentação, a extrusão e o cozimento (Das et al, 2022). A literatura também descreve dados em que as lectinas podem apresentar efeitos benéficos, como propriedades antioxidantes, antimicrobianas, inseticidas e antitumorais; modular os níveis glicêmicos no sangue e inibir a formação de biofilme bacteriano (Lagarda-Diaz et al., 2017).

Inibidores enzimáticos (de Proteases e de Amilases)

Os inibidores enzimáticos são moléculas que se ligam a uma enzima e bloqueiam sua atividade, reduzindo a velocidade da reação enzimática. É denominada de inibição irreversível quando forma um complexo e quando não forma é chamada de reversível. Essa inibição reversível pode ser competitiva, quando se liga ao sítio ativo, ou não competitiva, quando se liga a outra parte da cadeia polipeptídica (Farady et al., 2008). Os inibidores de proteases inibem a ação das enzimas proteases, que interferem no metabolismo das proteínas, enquanto os inibidores de amilases inibem de forma não competitiva a ação da enzima α -amilase, bloqueando o acesso ao sítio ativo e reduzindo a digestão do amido (Tucci et al., 2010; Lima et al., 2019; Oliveira et al. 2021).

Os inibidores de proteases são comumente encontrados em vegetais leguminosos como soja e feijão (Silva et al., 2000). Os inibidores de tripsina, particularmente da soja, são os mais estudados e os mais conhecidos. Eles causam diminuição da digestibilidade de proteínas de leguminosas que não foram cozidas de maneira suficiente para eliminá-los. Estão relacionados com a redução da taxa de crescimento e alterações metabólicas do pâncreas (Sgarbieri, 1987). Em alguns alimentos de origem vegetal, como grãos e leguminosas, a presença desses inibidores pode afetar a digestibilidade de proteínas pela inibição da

atividade das proteases pancreáticas e intestinais, comprometendo a absorção de aminoácidos pelo organismo humano, resultando em uma menor biodisponibilidade de nutrientes (Silva et al., 2013).

Algumas técnicas são empregadas para reduzir a atividade de inibidores de proteases em alimentos vegetais, como o tratamento térmico de cocção, que promove a desnaturação e inativação das enzimas. A cocção adequada, como também a fermentação, podem reduzir significativamente a atividade dos inibidores de proteases, melhorando a digestibilidade das proteínas (Garcia-Almendarez et al., 2019). Estudos recentes indicam que a imersão juntamente com a autoclavagem reduziu as concentrações de antinutrientes em grãos de feijão de porco e melhoraram a digestibilidade de proteínas da leguminosa (Arise et al., 2022). Além disso, a aplicação de técnicas enzimáticas, como a hidrólise proteolítica, também tem sido explorada como forma de reduzir os inibidores de proteases e melhorar a qualidade nutricional dos alimentos (Pereira et al., 2018).

Já as amilases são enzimas responsáveis pela hidrólise do amido, um polissacarídeo de reserva encontrado em alimentos de origem vegetal. A presença de inibidores de amilases em alimentos, como cereais e leguminosas, pode comprometer a digestibilidade do amido, resultando em menor biodisponibilidade e, conseqüentemente, menor absorção de glicose e de outros monossacarídeos (Borges et al., 2020).

A redução dos níveis e atividade de inibidores de amilase ainda necessita de mais estudos. Entretanto, relata-se que a fermentação e o processo de cozimento podem ser úteis na degradação desses compostos presentes no trigo, por exemplo (Boakye, 2023). Embora possuam efeitos negativos, têm-se investigado benefícios desses compostos em diferentes processos fisiológicos, como sua atividade anti-inflamatória, antitumoral e antioxidante (Kim et al., 2015). Alguns inibidores de proteases, por exemplo, têm demonstrado potencial no tratamento de doenças inflamatórias, como a artrite reumatoide (Diniz et al., 2017). Os inibidores das enzimas α -amilase podem auxiliar no tratamento do diabetes tipo 2, uma vez que conseguem reduzir a absorção de carboidratos, bem como na redução do peso corporal (Mojica et al., 2015; Oliveira et al., 2021).

Carboidratos não digeríveis (Rafinose, Estaquiase e Verbasose)

A rafinose é um trissacarídeo composto por uma molécula de galactose ligada a uma de glicose e outra de frutose. É encontrada em leguminosas, como feijões, lentilhas e grão-de-bico (Carvalho et al., 2015). Já a estaquiase e a verbasose são tetra e pentassacarídeos com estruturas semelhantes à rafinose. Esses carboidratos não digeríveis são encontrados principalmente em alimentos como brócolis, couve-flor e repolho (Rodríguez-Díaz et al., 2017).

A presença desses compostos pode levar à produção excessiva de gases intestinais, devido a digestão ineficiente pelas enzimas digestivas que leva à fermentação pela microbiota intestinal, causando desconforto abdominal e flatulência em alguns indivíduos (Muntean et al., 2016). Além disso, a atividade das enzimas digestivas humanas não é eficiente na quebra desses carboidratos complexos, resultando em prejuízos na absorção desses nutrientes (Agarwal et al., 2014).

Uma técnica recomendada para o pré-preparo das leguminosas, como o feijão, é o remolho com descarte da água devido a maior eliminação de antinutrientes, entre eles dos oligossacarídeos causadores de flatulência, fato que colabora com o aumento da biodisponibilidade de minerais, sem prejuízo significativo dos demais nutrientes (Fernandes & Proença, 2011). Outra técnica estudada para a redução dos teores de carboidratos não digeríveis em alimentos é o uso da enzima α -galactosidase, que tem a capacidade de hidrolisar ligações glicosídicas presentes nos carboidratos complexos, transformando-os em moléculas mais simples e digeríveis e reduzindo efeitos indesejáveis. (Rivas et al., 2013).

Entretanto, os carboidratos não digeríveis podem oferecer benefícios para a saúde, como ação prebiótica, contribuindo para o equilíbrio da microbiota intestinal, e redução do risco de doenças cardiovasculares (Yoo et al., 2018). Além disso, eles podem exercer um papel no controle da glicemia e no metabolismo lipídico, auxiliando no controle do diabetes tipo 2 e no gerenciamento do peso corporal (Martins et al., 2018). No Quadro 1, estão dispostas as principais características dos compostos antinutricionais.

Quadro 1 - Principais características dos fatores antinutricionais.

Classe de compostos	Fontes alimentares	Principais ações como antinutriente	Principais técnicas para redução da concentração	Referências
Taninos	Folha de couve-flor, folha de brócolis, couve, amendoim, taioba.	<ul style="list-style-type: none"> - Precipitam proteínas; - Inibem enzimas digestivas e reduzem a digestibilidade da proteína; - Afetam a utilização de vitaminas e minerais. 	<ul style="list-style-type: none"> - Descortiçamento; - Aquecimento em água; - Maceração em solução de NaOH 1N; - Imergir os vegetais em água ou solução salina antes do cozimento; - Fermentação usando bactérias lácticas combinada com imersão em solução de NaOH 0,09 M. 	Lumen & Salamat, 1980; Chang et al., 1994; Santos et al, 2006; Ram et al., 2020; Gunawan et al., 2022.
Saponinas	Leguminosas, sementes de girassol, folhas de espinafre, folhas de chá, quinoa, beterraba, alho, aveia, mandioca, sementes de tomate, sementes de feno-grego, aspargos, berinjela e inhame.	<ul style="list-style-type: none"> - Interação com o grupo de colesterol das membranas eritrocitárias, levando à hemólise; - Inibição de enzimas digestivas; - Redução da biodisponibilidade de cálcio. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tratamento com água acidificada em pH 1,0, seguido por lavagem em etanol P.A.; - Purificação por extração aquosa ou alcoólica. 	Liener, 2003; Ali et al., 2006; Birari & Bhutani, 2007; Bergamin, 2013; Moses et al., 2014; Lee et al., 2015; Vinarova et al., 2015; Ercan & El, 2016; Fleck et al., 2019.
Oxalatos	Brócolis, couve-flor, couve, taioba, tomate, jiló, batata doce.	<ul style="list-style-type: none"> - Afetam a biodisponibilidade de cálcio. - Formação de cálculos renais de oxalato de cálcio. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cozimento. 	Santos, 2006; Araújo et al., 2019; Pinheiro, 2021.
Fitatos	Grãos de leguminosas e cereais como sorgo, milho e milheto.	<ul style="list-style-type: none"> - Prejudicam a absorção de cálcio ferro, cobre e zinco. 	<ul style="list-style-type: none"> - Maltagem; - Moagem; - Fermentação. 	Maga, 1982; Domene et al., 2008; Kiewlicz et al., 2020; Atuna, 2022.
Nitritos e nitratos	Produtos cárneos curados.	<ul style="list-style-type: none"> - Compromete a biodisponibilidade do ferro heme; - Síntese de compostos nitrosos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Extração aquosa em pH ácido. - Homogeneização de alta pressão. 	Habermeyer et al., 2015; Johnston et al., 2019; Yong et al., 2021; Keuleyan et al., 2022.
Glicosídeos cianogênicos	Raízes de mandioca, caroço de damasco, caroço de ameixa.	<ul style="list-style-type: none"> - Intoxicação pelo ácido cianídrico, que inibe a atividade de metaloenzimas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Descascar; - Esmagar; - Moer; - Embeber; - Ralar; - Secar; - Imergir em água; - Aquecer em micro-ondas. 	Bolarinwa et al., 2014; Gleadow & Moller, 2014; Zhong, 2021; Sheikh et al., 2021.

Glucosinolatos	Vegetais crucíferos e especiarias como brócolis, agrião e mostarda preta; brássicas, como canola, repolho, colza, couve, rabanete, nabo e moringa.	- Síntese de isotiocianatos tóxicos pelo sistema glucosinato-mirosinase no organismo.	- Imersão; - Descascamento; - Fermentação; - Cozimento.	Mohn, 2007; Ferreira, et al., 2008; Saa et al., 2022. Mocniak, 2023.
Glicocalcóides	Batatas, tomate verde, berinjela, jiló.	- Formam complexos que levam à ruptura da membrana celular intestinal.	- Não utilizar batatas que se encontram com coloração esverdeada; - Descascamento e tratamento térmico de tubérculos como batatas.	Bushway & Ponnampalam, 1981; Machado & Toledo, 2004; Tajner-Czopek et al., 2008; Nepal, 2019; Silva, 2022.
Lectinas	Leguminosas como soja, feijão, ervilha e lentilha.	- Danificam as membranas epiteliais intestinais; - Interferem na digestão e absorção de nutrientes; - Estimulam mudanças na flora bacteriana; - Interrompem o metabolismo de carboidratos, proteínas e lipídeos.	- Fermentação; - Extrusão; - Cozimento.	Vasconcelos, 2004; Barroso, 2013; Das, 2022;
Inibidores enzimáticos (Proteases e Amilases)	Cereais, como trigo e leguminosas como soja e feijão.	- Diminui a digestibilidade de proteínas e de carboidratos.	- Cocção; - Fermentação.	Sgarbieri, 1987; Borges et al., 2020; Boakye, 2023.
Carboidratos não digeríveis (Rafinose, Estaquiose e Verbascose)	Leguminosas, como feijões, lentilhas, grão-de-bico; e vegetais como brócolis, couve-flor e repolho.	- Redução da digestibilidade de carboidratos.	- Remolho; - Utilização de enzimas como a α -galactosidase.	Rodriguez-Díaz et al., 2017; Rivas et al., 2013; Agarwal et al., 2014; Carvalho et al., 2015.

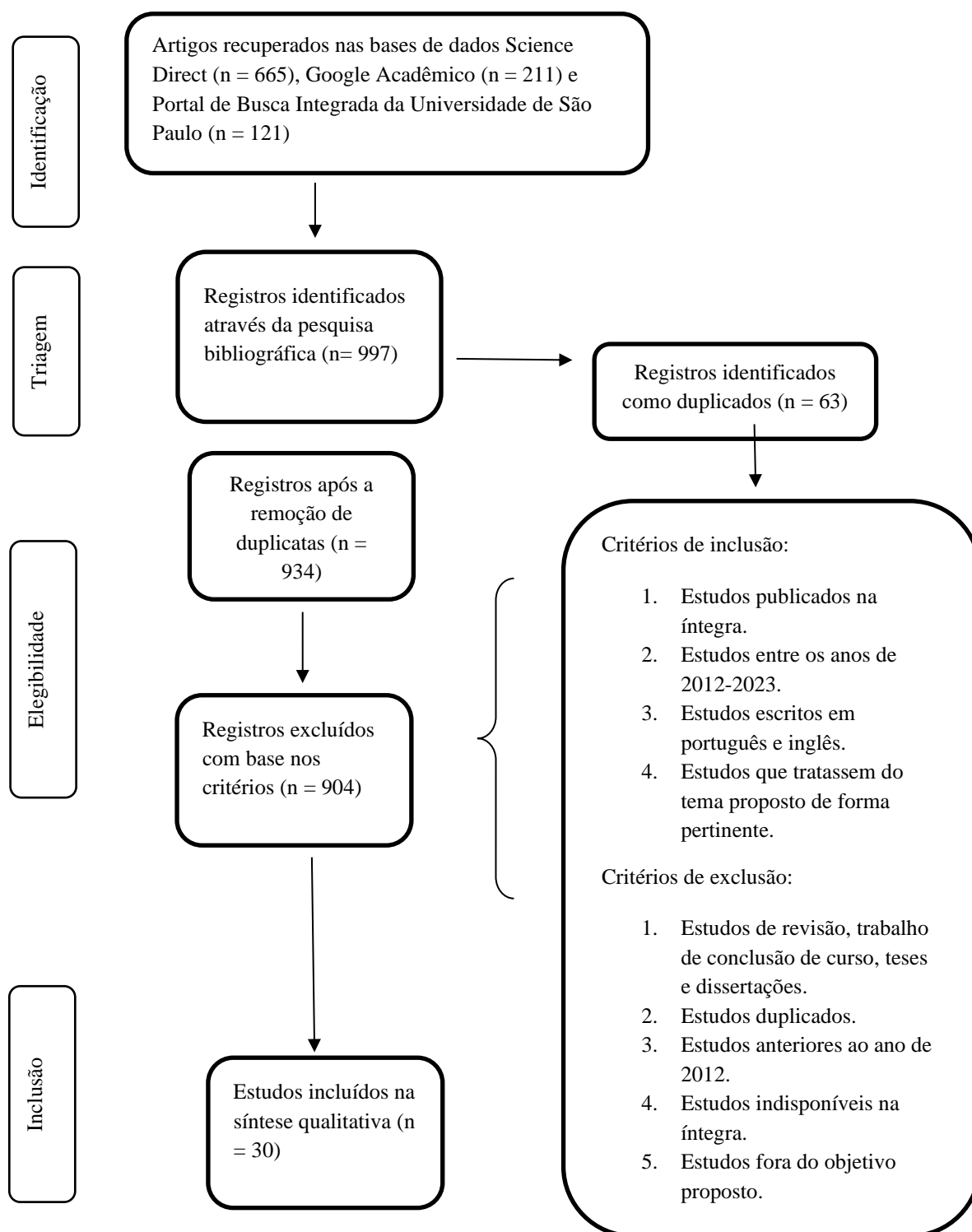
Fonte: Autoria própria (2023).

3. Metodologia

A pesquisa realizada trata-se de uma revisão integrativa baseada na proposta de Mendes et al (2008). Foram utilizadas as bases de dados eletrônicas Science Direct, Google Acadêmico e Portal de Busca Integrada da Universidade de São Paulo, reunindo artigos que abordassem a concentração de compostos antinutricionais em alimentos vegetais utilizados na alimentação humana. A busca foi realizada através do cruzamento de palavras-chave relevantes para o tema, nos idiomas português e inglês, utilizando o operador booleano “and”. As palavras-chave empregadas foram: fatores antinutricionais; antinutrientes; taninos; saponinas; fitatos; oxalatos; glicosinolatos; nitritos e nitratos; inibidores enzimáticos; glicosídeos cianogênicos; carboidratos não digeríveis; determinação; vegetais; farinha; antinutritional factors; antinutrients; tannins; saponins; phytates; oxalates; glucosinolates; nitrites and nitrates; enzyme inhibitors; cyanogenic glycosides; non-digestible carbohydrates; determination; vegetables; flour.

Após a busca, foram encontrados 997 trabalhos. Foi realizada a leitura dos títulos e resumos e a exclusão dos que não atendiam aos critérios da pesquisa, totalizando 30 artigos selecionados. Foram estabelecidos como critério de inclusão estudos publicados na íntegra entre os anos de 2012-2023 que tratassem do tema proposto de forma pertinente, abrangendo trabalhos em português e inglês. Os critérios de exclusão foram estudos de revisão, trabalho de conclusão de cursos, teses e dissertações, artigos duplicados, anteriores ao ano de 2012, indisponíveis na íntegra e fora do objetivo proposto. Posteriormente à leitura completa dos artigos selecionados, com ênfase nos resultados, os dados foram agrupados e categorizados para compor a pesquisa conforme discriminado no Quadro 2. O processo de busca está ilustrado conforme apresentado no fluxograma abaixo (Figura 1):

Figura 1 - Fluxograma do processo de busca e seleção dos artigos, baseado em Moher et al (2015).



Fonte: Moher, D., Shamseer, L., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P., Stewart, LA, & Grupo PRISMA-P (2015). Declaração de itens de relatório preferenciais para protocolos de revisão sistemática e meta-análise (PRISMA-P) 2015. *Revisões sistemáticas*, 4 (1), 1. <https://doi.org/10.1186/2046-4053-4-1>.

4. Resultados e Discussão

No Quadro 2, estão dispostos os alimentos e suas respectivas concentrações de compostos antinutricionais. Observou-se que os antinutrientes mais abundante nos alimentos avaliados foram os fitatos, seguido dos taninos, oxalatos, saponinas, inibidores de proteases (incluindo inibidores de tripsina), nitratos, glicosídeos cianogênicos, carboidratos não digeríveis (rafinose, estaquiase e verbascose) e glucosinolatos.

Quadro 2 - Compostos antinutricionais presentes nos alimentos e suas respectivas concentrações.

Alimentos	Antinutrientes	Concentração	Referências
Sementes de sapucainha (<i>Carpotroche brasiliensis</i>)	Fitatos e oxalatos	Fitatos = 0,65g% Oxalatos = 0,21mg%	Pinto et al., 2012
Feijão caupi (<i>Vigna unguiculata</i>)	Inibidores de tripsina	Inibidores de tripsina = 168,58 UTI/mg proteínas	Gomes et al., 2012
Amêndoa de pequi (crua) (<i>Caryocar brasiliense Camb.</i>)	Taninos e fitatos	Taninos = 1,21 g. 100 g ⁻¹ Fitatos = 2,64 g. 100 g ⁻¹	Damiani et al., 2013
Soja (<i>Glycine max</i>)	Taninos, fitatos, inibidores de proteases	Taninos = 1,93 mg.g ⁻¹ Fitatos= 1,16 mg.g ⁻¹ Inibidores de proteases = 1,20 mg.g ⁻¹	Adeyemo & Onilude, 2013
Feijão-de-metro (<i>Vigna unguiculata subsp. unguiculata</i>)	Taninos e fitatos	Taninos = 0,38 g.100 g ⁻¹ Fitatos = 398,28 mg.g ⁻¹	Mohan & Kalpanadevi, 2013
Farinha da casca de yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)	Taninos, nitratos e oxalatos	Taninos = 15.304,50 mg.kg ⁻¹ Nitratos = 1.578,30 mg.kg ⁻¹ Oxalatos = 7.925,0 mg.kg ⁻¹	Pereira et al., 2013
Mix de cereais (leite de soja em pó, gergelim, levedo de cerveja, fibra de trigo, gelatina, quinoa, linhaça, cacau, gérmen de trigo, aveia em flocos, guaraná em pó, fibra de maracujá, farinha de banana verde e canela)	Taninos e inibidores de tripsina	Taninos = 587,51 mg de catequinas/g Inibidores de tripsina = 2,19±0,06 UIT/ g	Mantoani et al., 2013
Amaranto (<i>Amaranthus cruentus</i>)	Taninos	203,0 mg de equivalentes de catequinas (CE) /100 g	Kruger et al., 2015
Farinha de sabugo de milho (<i>Zea mays L.</i>)	Fitato e oxalato	Fitato = 0,51 g. 100 g ⁻¹ Oxalato = 0,02 g. 100 g ⁻¹	Oliveira et al, 2016
Feijão comum (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>)	Saponina e fitatos	Saponina = 3.730,0 mg.g ⁻¹ Fitatos = 3.102,0 mg.g ⁻¹	Shang et al., 2016
Tomate (<i>Lycopersicon esculentum Mill.</i>)	Oxalatos	Oxalatos = 3,3%	Oliveira et al., 2017
Molho de tomate (<i>Lycopersicon esculentum Mill.</i>) industrializado	Oxalatos	Oxalatos = 0,6%	Oliveira et al., 2017
Extrato de tomate (<i>Lycopersicon esculentum Mill.</i>)	Oxalatos	Oxalatos = 1,62%	Oliveira et al., 2017
Feijão guandu (<i>Cajanus cajan (L.) Millsp</i>)	Taninos	Taninos = 267,80 mg.100 g ⁻¹	Benevides et al., 2017

Feijão mangalô (<i>Lablab purpureus</i>)	Taninos	Taninos = 67,60 mg.100 g ⁻¹	Benevides et al., 2017
Folha de mandioca (<i>Manihot esculenta</i> Crantz)	Glicosídeos cianogênicos (ácido cianídrico)	Ácido cianídrico = 217, 65 mg de HCN/kg	Junior et al., 2018
Farinha de ervilha-amarela (<i>Pisum sativum</i> L.)	Taninos e inibidores de tripsina	Taninos = 2,40 mg equivalentes de catequinas (base seca) Inibidores de tripsina = 2,70 g.kg ⁻¹	Ma et al., 2018
Farinha de resíduos de abacaxi (<i>Ananas comosus</i>)	Oxalatos, fitatos, nitratos e saponinas	Oxalatos = 1,37 mg.100 g ⁻¹ Fitatos = 1,97 % Nitratos = 3,93 mg.100 g ⁻¹ Saponinas = 0,12 g.100 g ⁻¹	Martins et al., 2019
Farinha de resíduos de acerola (<i>Malpighia emarginata</i> DC)	Oxalatos, fitatos, nitratos e saponinas	Oxalatos = 13,50 mg.100 g ⁻¹ Fitatos = 0,95 % Nitratos = 0,51 mg.100 g ⁻¹ Saponinas = 0,13 g.100 g ⁻¹	Martins et al., 2019
Farinha de resíduos de cajá (<i>Spondias mombin</i>)	Oxalatos, fitatos, nitratos e saponinas	Oxalatos = 5,60 mg.100 g ⁻¹ Fitatos = 0,55 % Nitratos = 7,05 mg.100 g ⁻¹ Saponinas = 0,21 g.100 g ⁻¹	Martins et al., 2019
Farinha de resíduos de manga (<i>Mangifera indica</i> L.)	Oxalatos, fitatos, nitratos e saponinas	Oxalatos = 2,20 mg.100 g ⁻¹ Fitatos = 0,38 % Nitratos = 9,34 ± 0,10 mg.100 g ⁻¹ Saponinas = 0,30 g.100g ⁻¹	Martins et al., 2019
Farinha de resíduos de maracujá (<i>Passiflora sp.</i>)	Oxalatos, fitatos, nitratos e saponinas	Oxalatos = 1,20 mg.100 g ⁻¹ Fitatos = 1,24 % Nitratos = 5,89 mg.100g ⁻¹ Saponinas = 0,17 g.100g ⁻¹	Martins et al., 2019
Amendoim bambara (<i>Vigna subterranea</i>)	Fitatos, taninos e oxalatos	Fitatos = 5,98 mg.100 g ⁻¹ Taninos = 16,07 mg CE/g Oxalatos = 6,14 mg.100 g ⁻¹	Adebiyi et al., 2019
Biscoito tipo cookie desenvolvido com resíduos da produção de cerveja e castanha de baru (<i>Dipteryx alata</i>)	Taninos	Taninos = 0,35 mg de EAT.100g ⁻¹	Lemos et al., 2019
Farinha de sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> L.)	Taninos e fitatos	Taninos = 0,70g.100 g ⁻¹ Fitatos = 260,0 mg.100 g ⁻¹	Hamad et al., 2019
Casca de murici (<i>Byrsonima crassifolia</i> L.)	Taninos	Taninos = 2,74 mg equivalentes de ácido tânico/100 g	Alves et al., 2020
Casca de gabirola (<i>Campomanesia sp.</i>)	Taninos	Taninos = 37,66 mg equivalentes de ácido tânico/100 g	Alves et al., 2020
Farinha de alfafa (<i>Medicago sativa</i> L.)	Taninos, fitatos, inibidores de tripsina	Taninos = 16,94 mg.g ⁻¹ Fitatos = 11,61 mg.g ⁻¹ Inibidores de tripsina = 7,62 UIT*/mg proteína	Sahni & Sharma, 2020

Fava (<i>Vicia faba</i> L.)	Fitatos, saponinas e carboidratos não digeríveis (rafinose, estaquiase e verbascose)	Fitatos = 773 mg.100 g ⁻¹ (base seca) Saponinas = 32,1 ±0,7 mg.100 g ⁻¹ (base seca) Rafinose = 2,0 g.Kg ⁻¹ (base seca) Estaquiase = 4,40 g.Kg ⁻¹ (base seca) Verbascose = 11,30 g.Kg ⁻¹ (base seca)	Labba et al., 2021
Farinha crua de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	Taninos e fitatos	Taninos = 24,90 mg·g ⁻¹ Fitatos = 7,31 mg·g ⁻¹	Bento et al., 2021
Farinha da casca de mamão Havaí (<i>Carica papaya</i> L.)	Fitato, oxalato e inibidor de tripsina	Fitato = 0,09 g.100 g ⁻¹ Oxalato = 0,02 g.100 g ⁻¹	Santos et al., 2021
Farinha da semente de mamão Havaí (<i>Carica papaya</i> L.)	Fitato, oxalato e inibidor de tripsina	Fitato = 1,10 g.100 g ⁻¹ Oxalato = 0,73 g.100 g ⁻¹ Inibidor de tripsina = 32,79 mUTI g ⁻¹	Santos et al, 2021
Feijão bóer (<i>Cajanus cajan</i>)	Taninos, glicosídeos cianogênicos	Taninos = 0,21 mg.100 g ⁻¹ Glicosídeos cianogênicos = 9,60 mg. 100 g ⁻¹	Gomezulu & Monji, 2022
Feijão preto (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	Fitatos e taninos	Fitatos = 21,10 mg·g ⁻¹ Taninos = 36,80 mg·g ⁻¹	Wafula et al., 2022
Farinha de caroço de abacate Hass (<i>Persea americana</i> Mill. var Hass)	Taninos, saponinas, oxalatos e fitatos	Taninos = 6,55 mg.100 g ⁻¹ Saponinas = 5,32 mg.100 g ⁻¹ Oxalatos = 4,28 mg. 100 g ⁻¹ Fitatos = 1,19 mg.100 g ⁻¹	Rozan et al., 2022
Farinha de trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.) sem glúten	Taninos, fitatos, oxalatos e inibidores de tripsina	Taninos = 3,77 mg·g ⁻¹ Fitato = 7,22 mg·g ⁻¹ Oxalato = 2,12 mg·g ⁻¹ Inibidores de tripsina = 8,92±0,03 mg·g ⁻¹	Ijarotimi et al., 2022
Brócolis (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>)	Glucosinolatos	Glucosinolatos = 21,92 μmol.g ⁻¹ (base seca)	Xiaoxin et al., 2023
Casca de <i>Berberis baluchistanica</i>	Oxalatos e fitatos	Oxalatos = 0,12 mg·g ⁻¹ Fitatos = 0,17 ± 0,24%	Gul et al., 2023
Folhas de <i>Berberis baluchistanica</i>	Oxalatos e fitatos	Oxalatos = 0,14 mg·g ⁻¹ Fitatos = 0,25 %	Gul et al., 2023
Grãos de milheto (<i>Pennisetum glaucum</i>)	Fitatos, taninos, oxalatos, inibidores de tripsina	Fitatos = 973 mg. 100 g ⁻¹ Taninos = 28,7 mg. 100 g ⁻¹ Oxalatos = 11,19 mg. 100 g ⁻¹ Inibidores de tripsina = 182,34 IU/g	Goudar et al., 2023

Fonte: Autoria própria (2023).

Considerando os três principais antinutrientes (fitatos, taninos e oxalatos) encontrados nos alimentos pesquisados nesta revisão, segue abaixo a discussão de alguns estudos abordando esses compostos.

Os estudos mencionados na Quadro 2 mostram as concentrações de fitatos principalmente nas farinhas (de sabugo de milho, de resíduos de abacaxi, de resíduos de acerola, de resíduos de cajá, de resíduos de manga, de resíduos de maracujá, de

sorgo, de alfava, de feijão, de casca e semente de mamão, de caroço de abacate, de trigo), sementes (de sapucainha), folhas (de *Berberis baluchistanica*), cascas (de *Berberis baluchistanica*), grãos (de milheto), leguminosas como soja, feijão (feijão-de-metro, comum, preto) e fava e oleaginosas como amêndoas (de pequi) e amendoim.

Estudo realizado em roedores (Ma et al., 2023) analisou os efeitos da ingestão de leite de soja com baixo teor de fitato sobre o nível de cálcio, ferro e zinco. O resultado mostrou que o nível sérico e hepático de Zn, o nível de Ca no fêmur e no fígado e o armazenamento hepático de Fe foram maiores do que no grupo leite de soja (sem redução de fitatos), evidenciando a interação do fitato com estes minerais.

Os fitatos podem inibir a absorção do ferro, que participa efetivamente na produção de energia e transporte de oxigênio no sangue, quando a razão molar fitato/ferro é maior do que 1 (Pinheiro et al, 2020). Gibson et al. (2010), analisaram a biodisponibilidade de minerais em alimentos à base de plantas indígenas quanto à dependência da dose de fitatos para efeito inibitório da absorção de outros minerais além do ferro, como zinco e cálcio. Os níveis sugeridos desejáveis foram fitatos: ferro < 1, fitatos:zinco < 18 e fitatos:cálcio < 0,17.

Por outro lado, os fitatos podem exercer efeitos benéficos como a redução do risco de câncer como o de cólon e de mama, bem como atuar na prevenção de doenças cardiovasculares (Furtunato et al., 2003). O consumo de fitatos pode também auxiliar indivíduos com insuficiência renal, devido a restrição da ingestão de fósforo pela suposição de que o fitato-fósforo em cereais integrais, leguminosas e nozes é pouco absorvido (Calvo & Uribarri, 2021).

Quanto aos taninos (Quadro 2), foram encontrados em amêndoas (de pequi), amendoim, soja, amaranto, variedades de feijão (feijão-de-metro, guandu, mangalô, bóer, preto), farinhas (da casca de yacon, de ervilha-amarela, de sorgo, de alfafa, de feijão, de caroço de abacate, de trigo), cascas (de murici, de gabirola), grãos (de milheto), mix de cereais e biscoito tipo cookie desenvolvido com resíduos da produção de cerveja e castanha de baru. Em um ensaio *in vivo* com cabras lactantes, mostrou-se que os taninos têm um impacto negativo na digestibilidade e na eficiência do uso dos alimentos, afetando inclusive, a composição do leite, reduzindo a concentração de proteína bruta (Battelli et al., 2024).

Estudo realizado com peixes achigãs (*Micropterus salmoides*) para avaliar o possível papel dos taninos condensados na imunidade e na atividade antioxidante, verificou que alta dose de suplementação dietética de taninos nos animais causou danos oxidativos e imunológicos no fígado e no intestino, acompanhados por resposta inflamatória, enquanto a baixa dose teve efeitos opostos, aliviando o estresse oxidativo e os danos inflamatórios (Kang, 2023). Concordante com este último achado, estudos que analisaram a atividade antioxidante de leguminosas com expressivo teor de taninos, mostraram contribuir na proteção contra processos oxidativos no organismo humano (Vieira, 2009; Landim, 2013). Santillo et al. (2022) que estudaram a suplementação dietética de taninos em vacas leiteiras, mostraram a influência positiva no estado oxidativo e imunológico dos animais, com aumento da proporção de citocinas anti-inflamatórias.

Em relação aos oxalatos (Quadro 2), foram encontrados em sementes (sapucainha), farinhas (trigo, caroço de abacate, casca e semente de mamão, resíduos de manga, resíduos de acerola, resíduos de cajá, resíduos de abacaxi, resíduos de maracujá, sabugo de milho e casca de yacon,) tomate (*in natura*, molho e extrato), amendoim, cascas (de *Berberis baluchistanica*), folhas (de *Berberis baluchistanica*) grãos (grão de milheto).

A alta concentração de oxalato em alimentos pode afetar a biodisponibilidade do cálcio no organismo e facilitar a formação de cálculos renais se não houver uma boa ingestão de água pelo indivíduo com predisposição genética ao desenvolvimento destes cálculos (Massoli et al, 2021). Estudo recente em ratos demonstrou que refeições ricas em oxalato estão associadas a cálculos renais de oxalato de cálcio, pois a Hidroxi-L-prolina (HLP), induz a formação de cristais de oxalatos de cálcio, levando à deposição desses cristais, que impacta nos macrófagos e influencia na resposta imune durante a patogênese de cálculos renais (Kumar et al., 2022). Outro estudo realizado em ratos Sprague-Dawley (Wu et al., 2021) mostrou que a exposição

simultânea de oxalato com a melamina, substância utilizada em alguns utensílios, aumentou os níveis de espécies reativas de oxigênio mitocondrial nas células tubulares proximais, a peroxidação lipídica e os danos oxidativos ao DNA, indicando que a co-exposição pode potencializar o efeito de lesão tubular renal via estresse oxidativo.

Estes resultados evidenciam a importância de se avaliar a presença e o teor de antinutrientes nos alimentos a serem consumidos, pois a depender da dose e frequência, eles podem provocar danos à saúde humana (López-Moreno et al., 2022). Podem, por exemplo, formar complexos insolúveis que reduzem a biodisponibilidade de vitaminas e minerais (Pinheiro et al., 2020) e diminuir a digestibilidade de proteínas por mudanças estruturais (Kaspchak et al., 2020). Por outro lado, quando em menores concentrações podem ser benéficos para a saúde agindo como antioxidantes, protetores do sistema circulatório, redutores da pressão sanguínea, reguladores da glicemia e da colesterolemia, anticancerígenos, antimicrobianos, melhoradores da resposta imune, entre outros. Portanto, podem ser denominados “fatores nutricionalmente ativos” ou “compostos bioativos” (Higashijima et al., 2020).

Ressalta-se também a importância de submeter os alimentos a processamentos tradicionais comumente aplicados para redução de níveis de antinutrientes nos vegetais como descascamento, maceração, fervura, cocção sob pressão, brotação e fermentação e também por processos inovadores, a exemplo do aquecimento dielétrico, extrusão, irradiação γ , ultrassom e alta pressão hidrostática (Das et al., 2022). Estas técnicas geralmente promovem uma faixa segura de consumo de antinutrientes e aumentam a biodisponibilidade de alguns minerais e outros nutrientes (Brigide et al., 2019; Das et al., 2022).

5. Considerações Finais

Esta revisão apresentou dados importantes sobre a presença e o teor de compostos antinutricionais em vegetais *in natura* e processados, destacando a ocorrência de fitatos, taninos e oxalatos. As pesquisas apontaram efeitos prejudiciais (redução da biodisponibilidade de vitaminas e minerais, da digestibilidade de carboidratos, proteínas e lipídeos, danos às membranas intestinais, formação de cálculos renais e riscos de intoxicação) e também ações benéficas (efeito anti-inflamatório, antioxidante, anticarcinogênico, antimicrobiano, hipoglicemiante, antitrombótico, prebiótica e redução de calcificação cardiovascular). Estas propriedades são dependentes da concentração e frequência de consumo, além das condições de saúde dos indivíduos.

Portanto, faz-se necessário ampliar estudos que envolvam ensaios clínicos, avaliação da concentração de compostos antinutricionais na dieta brasileira e resíduos mais empregados na alimentação humana. Sugere-se, também, reforçar a investigação desses compostos no sentido de elucidar possíveis efeitos benéficos na saúde humana.

Referências

- Adebisi, J. A., Njobeh, P. B., & Kayitesi, E. (2019). Assessment of nutritional and phytochemical quality of Dawadawa (an African fermented condiment) produced from Bambara groundnut (*Vigna subterranea*). *Microchemical Journal*, 149, 104034. [10.1016/j.microc.2019.104034](https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104034)
- Adeyemo, S. M., & Oniluode, A. A. (2013). Enzymatic reduction of anti-nutritional factors in fermenting soybeans by *Lactobacillus plantarum* isolates from fermenting cereals. *Nigerian Food Journal*, 31(2), 84-90.
- Agarwal, R., et al. (2014). Non-digestible oligosaccharides and their role in diabetes. *Current Diabetes Reviews*, 10(5), 322-332. [10.2174/156890141005140828](https://doi.org/10.2174/156890141005140828)
- Alves, V. M., et al. (2020). Gabiroba e Murici: Estudo do valor nutricional e antinutricional da casca, polpa e semente. *Research, Society and Development*, 9(5), e152953260. [10.3399/rsd.v9i5.p.e152953260](https://doi.org/10.3399/rsd.v9i5.p.e152953260)
- Araújo, S. D. S., Araújo, P. D. S., Giunco, A. J., Silva, S. M., & Argandaña, E. J. S. (2019). Bromatology, food chemistry and antioxidant activity of *Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 31(3), 188-195. [10.9755/ejfa.2019.v31.i3.1924](https://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i3.1924)
- Arise, A. K., et al. (2022). Influence of processing methods on the antinutrients, morphology and in-vitro protein digestibility of jack bean. *Food Chemistry Advances*, 1, 100078. [10.1016/j.focha.2022.100078](https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100078)
- Astley, S., & Paul, F. (2016). Nutrition and health. In Reference Module in Food Science (pp. 341-352). *Elsevier*. [10.1016/B978-0-08-100596-5.03425-9](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03425-9)

- Atuna, R. A., et al. (2022). Traditional processing methods reduced phytate in cereal flour, improved nutritional, functional and rheological properties. *Scientific African*, 15, e01063. 10.1016/j.sciaf.2021.e01063
- Barroso, L. S., et al. (2013). A Influência dos Processos Térmicos na Atividade das Lectinas de Ervilha e de Lentilha. *Salão de Ensino - UFRGS*, 9.
- Berardo, A., et al. (2016). Effect of sodium ascorbate and sodium nitrite on protein and lipid oxidation in dry fermented sausages. *Meat Science*, 121, 359-364. 10.1016/j.meatsci.2016.07.003
- Battelli, M., et al. (2024). Condensed tannins fed to dairy goats: effects on digestibility, milk production, blood parameters, methane emission, and energy and nitrogen balances. *Journal of Dairy Science*. 10.3168/jds.2023-24076
- Benevides, C., et al. (2017). Processing Effect Assessment in Contents Phenolic Total and Antioxidant Capacity of the Bean Mangalô (Lablab Purpureus (L.) Sweet) and Bean Guandu (Cajanus Cajan (L.) Mill Sp). *Revista Virtual de Química*, 9(2), 827-837. 10.21577/1984-6835.20170051
- Benevides, C. M. J., et al. (2011). Fatores antinutricionais em alimentos: revisão [Antinutritional factors in food: a review]. *Segurança Alimentar e Nutricional*, 18(2), 67-79.
- Bento, J. A. C., et al. (2021). Chemical profile of colorful bean (*Phaseolus vulgaris* L) flours: Changes influenced by the cooking method. *Food chemistry*, 356, 129718.
- Bergamin, G. T., et al. (2013). Extração de antinutrientes e aumento da qualidade nutricional dos farelos de girassol, canola e soja para alimentação de peixes. *Ciência Rural*, 43(10), 1878-1884. 10.1590/S0103-847
- Boakye, P. G., et al. (2023). Reduction of FODMAPs and amylase-trypsin inhibitors in wheat: A review. *Food Hydrocolloids for Health*, 3, 100117. 10.1016/j.fhfh.2023.100117
- Bolarinwa, I. F., Orfila, C., & Morgan, M. R. A. (2014). Amygdalin content of seeds, kernels and food products commercially-available in the UK. *Food Chemistry*, 152, 133-139. 10.1016/j.foodchem.2013.11.002
- Borges, M. H., et al. (2020). Inibidores enzimáticos de amilases: ocorrência, atividade biológica e potenciais aplicações em alimentos. *Brazilian Journal of Food Technology*, 23.
- Brigidé, P., et al. (2019). Fe and Zn in vitro bioavailability in relation to antinutritional factors in biofortified beans subjected to different processes. *Food Function*, 10(8), 4802-4810. 10.1039/C9FO00199A
- Bushway, R. J., & Ponnampalam, R. (1981). alpha-chaconine and alpha-solanine content of potato products and their stability during several modes of cooking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 29(4), 814-817
- Calvo, M. S., & Uribarri, J. (2021). Perspective: Plant-based Whole-Grain Foods for Chronic Kidney Disease: The Phytate-Phosphorus Conundrum. *Advances in Nutrition*, 12(6), 2056-2067. 10.1093/advances/nmab066
- Carvalho, N. L., & Zobot, V. (2012). Nitrogênio: nutriente ou poluente? *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 6, 960-974. 10.5902/223611704671
- Carvalho, M. A., et al. (2015). Simultaneous saccharification and fermentation of soybean meal: assessing the impacts of raffinose and stachyose. *Food Chemistry*, 166, 363-370
- Cecarini, V. (2022). Targeting Proteolysis with Cyanogenic Glycoside Amygdalin Induces Apoptosis in Breast Cancer Cells. *Molecules*, 27(21), 7591. 10.3390/molecules27217591
- Chang, M. J., et al. (1994). Cowpeas tannins related to cultivar, maturity, dehulling and heating. *Journal of Food Science*, 59(5), 1034-1036
- Chaturvedi, S., Chakraborty, S., et al. (2022). Optimization of extraction process for legume-based synbiotic beverages, followed by their characterization and impact on antinutrients. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 28, 100506. 10.1016/j.ijgfs.2022.100506
- Coscuela, E. R., et al. (2023). Production of soy protein concentrate with the recovery of bioactive compounds: From destruction to valorization. *Food Hydrocolloids*, 137, 108314. 10.1016/j.foodhyd.2022.108314
- Damiani, C., et al. (2013). Perfil de ácidos graxos e fatores antinutricionais de amêndoas de pequi crua e torrada. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 43, 71-78
- Das, G., Sharma, A., & Sarkar, P. K. (2022). Conventional and emerging processing techniques for the post-harvest reduction of antinutrients in edible legumes. *Applied Food Research*, 2(1), 100112. 10.1016/j.afres.2022.100112
- Ding, X., et al. (2013). Purification, antitumor activity in vitro of steroidal glycoalkaloids from black nightshade (*Solanum nigrum* L.). *Food Chemistry*, 141(2), 1181-1186. 10.1016/j.foodchem.2013.03.062
- Diniz, M. F. F. M., et al. (2017). Plant protease inhibitors: an overview of their potential role in combating inflammatory and autoimmune diseases. *International Journal of Biological Macromolecules*, 97, 28-37. 10.1016/j.ijbiomac.2017.01.022
- Domene, S. M. A., Pereira, T. C., & Arrivillaga, R. K. (2008). Estimativa da disponibilidade de zinco em refeições com preparações padronizadas da alimentação escolar do município de Campinas. *Rev Nutr*, 21(2), 161-167
- Dong, Q., & Tu, K. (2006). Progresso da pesquisa sobre o mecanismo bacteriostático do nitrito em carne conservada. *J Progress in Modern Biomedicine*, 2(3), 48-52

- Farady, C. J., et al. (2008). Structure of an Fab–protease complex reveals a highly specific non-canonical mechanism of inhibition. *Journal of molecular biology*, 380(2), 351-360. 10.1016/j.jmb.2008.03.042
- Faria-Silva, C., et al. (2022). Alpha-tomatine and the two sides of the same coin: An anti-nutritional glycoalkaloid with potential in human health. *Food Chemistry*, 391, 133261. 10.1016/j.foodchem.2022.133261
- Fernandes, A. C., & Proença, R. P. C. (2011). Técnicas recomendadas para pré-preparo de feijão: remolho e descarte de água. *Nutrição em Pauta*, 19(111), 50-5
- Ferreira, P. M. P., et al. (2008). *Moringa oleifera*: bioactive compounds and nutritional potential. *Revista de Nutrição*, 21, 431-437
- Fleck, J. D., et al. (2019). Saponins from Quillaja saponaria and Quillaja brasiliensis: particular chemical characteristics and biological activities. *Molecules*, 24(1), 171
- Furtunato, D. M. N., Trigueiro, I. N. S., & Góes, J. Â. W. (2003). Fitatos na alimentação humana: uma visão abrangente. *Higiene Alimentar*, 17(107), 16-20
- Garcia-Almendarez, B. E., et al. (2019). Thermal processing and nutritional quality of legumes. *Journal of Food Science and Technology*, 56(7), 3083-3091
- Gibson, R. S., Bailey, K. B., Gibbs, M., & Ferguson, E. L. (2010). Uma revisão das concentrações de fitato, ferro, zinco e cálcio em alimentos complementares à base de plantas usados em países de baixa renda e implicações para a biodisponibilidade. *Food and Nutrition Bulletin*, 31, 134-146
- Gitanjali, J. (2023). Antimicrobial, antioxidant, anticancer, and antithrombotic competency of saponins from the root of *Decalepis hamiltonii*. *Environmental Research*, 231(1), 116096. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116096>
- Gleadow, R. M., & Møller, B. L. (2014). Cyanogenic glycosides: synthesis, physiology, and phenotypic plasticity. *Annual Review of Plant Biology*, 65, 155-185. 10.1146/annurev-arplant-050213-040027
- Gomes, F. A. et al. (2012). Aspectos nutritivos de feijões crioulos cultivados no Vale do Juruá, Acre, Brasil. *Enciclopédia Biosfera*, 8(14)
- Gomezulu, A. D., & Mongi, R. J. (2022). Protein content and anti-nutritional factors in pigeon pea and effect of its protein isolate on physical properties and consumer preference of beef sausages. *Applied Food Research*, 2(1), 100047
- Goudar, G. et al. (2023). Phenolic, nutritional and molecular interaction study among different millet varieties. *Food Chemistry Advances*, 2, 100150
- Guéraud, F. (2015). Dietary polyunsaturated fatty acids and heme iron induce oxidative stress biomarkers and a cancer promoting environment in the colon of rats. *Free Radical Biology and Medicine*, 83, 192-200. 10.1016/j.freeradbiomed.2015.02.023
- Gul, Z. et al. (2023). Phytonutrient and antinutrient components profiling of *Berberis baluchistanica* Ahrendt bark and leaves. *Journal of King Saud University - Science*, 35(2), 102517. 10.1016/j.jksus.2022.102517
- Gunawan, S. et al. (2022). Effect of process production on antinutritional, nutrition, and physicochemical properties of modified sorghum flour. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(10), 104134. 10.1016/j.arabjc.2022.104134
- Habermeyer, M. et al. (2015). Nitrate and nitrite in the diet: how to assess their benefit and risk for human health. *Molecular Nutrition & Food Research*, 59(1), 106-128
- Hamad, S. A. A. et al. (2019). Nutritional quality of raw and cooked flours of a high β -glucan sorghum inbred line. *Journal of Cereal Science*, 90, 102857
- Higashijima, N. S., Lucca, A., Rebizzi, L. R. H., & Rebizzi, L. M. H. (2020). Fatores antinutricionais na alimentação humana. *Segurança Alimentar e Nutricional*, 27, 1-16
- Hospital, X. F. et al. (2016). A study on the toxigenesis by *Clostridium botulinum* in nitrate and nitrite-reduced dry fermented sausages. *International Journal of Food Microbiology*, 218, 66-70. 10.1016/j.ijfoodmicro.2015.11.009
- Hosseini, M. et al. (2023). A worldwide systematic review, meta-analysis and meta-regression of nitrate and nitrite in vegetables and fruits. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 257, 114934. 10.1016/j.ecoenv.2023.114934
- Huang, X. et al. (2023). Effects of fresh-cut and storage on glucosinolates profile using broccoli as a case study. *Horticultural Plant Journal*, 9(2), 285-292
- Huynh, N. K. et al. (2022). Effects of processing on oxalate contents in plant foods: A review. *Journal of Food Composition and Analysis*, 112, 104685. 10.1016/j.jfca.2022.104685
- Ijarotimi, O. S., Ogunjobi, O. G., & Oluwajuyitan, T. D. (2022). Gluten free and high protein-fiber wheat flour blends: Macro-micronutrient, dietary fiber, functional properties, and sensory attributes. *Food Chemistry Advances*, 1, 100134
- International Agency for Research on Cancer. Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. (2018). Red meat and processed meat. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*, Lyon, France
- Johnston, B. C. et al. (2019). Unprocessed red meat and processed meat consumption: Dietary guideline recommendations from the NutriRECS Consortium. *Anais de Medicina Interna*, 171(10), 756-764
- Joubert, P. et al. (2016). Hypothesis: Phytate is an important unrecognized nutrient and potential intravenous drug for preventing vascular calcification. *Medical Hypotheses*, 94, 89-92. 10.1016/j.mehy.2016.07.005

- Junior, E. N. M. et al. (2018). Caracterização Físico-Química e Determinação de Ácido Cianídrico em Folhas de Mandioca (*Manihot esculenta Crantz*). XXVI Congresso Brasileiro de Ciência dos Alimentos
- Kang, P. et al. (2023). Effects of replacing fishmeal with rapeseed meal and dietary condensed tannins on antioxidant capacity, immunity, and hepatic and intestinal health of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquaculture Reports*, 30, 101548. 10.1016/j.aqrep.2023.101548
- Kasprchak, E. et al. (2020). Interactions of antinutrients mixtures with bovine serum albumin and its influence on in vitro protein digestibility. *Journal of Molecular Liquids*, 315, 113699. 10.1016/j.molliq.2020.113699
- Keuleyan, E. et al. (2022). In vitro digestion of nitrite and nitrate preserved fermented sausages – New understandings of nitroso-compounds' chemical reactivity in the digestive tract. *Food Chemistry: X*, 16, 100474. 10.1016/j.fochx.2022.100474
- Kim, J. T. et al. (2015). Protease inhibitors from plants with antimicrobial activity. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(5), 9650-9668
- Kiewlicz, J. A., & Rybicka, I. (2020). Minerals and their bioavailability in relation to dietary fiber, phytates and tannins from gluten and gluten-free flakes. *Food Chemistry*, 305, 125452. 10.1016/j.foodchem.2019.125452
- Kiranmayi, P. (2014). Is bioactive compounds in plants acts as anti nutritonal factors. *International Journal of Current Pharmaceutical Research*, 6(2), 36-38.
- Kirkhus, B. et al. (2019). Increased release of carotenoids and delayed in vitro lipid digestion from high-pressure homogenized tomato and capsicum emulsions. *Food Chemistry*, 285, 282-289
- Kruger, J. et al. (2015). Potential contribution of African green leafy vegetables and maize porridge composite meals to iron and zinc nutrition. *Nutrition*, 31(9), 1117-1123
- Kumar, P. et al. (2022). Hydroxyproline stimulates inflammation and reprograms macrophage signaling in a rat kidney stone model. *Biochimica et Biophysica Acta - Molecular Basis of Disease*, 1868(9), 166442. 10.1016/j.bbdis.2022.166442
- Labba, I. M., Frøkiær, H., & Sandberg, A. (2021). Nutritional and antinutritional composition of fava bean (*Vicia faba L., var. minor*) cultivars. *Food Research International*, 140, 110038
- Lagarda-Diaz, I. et al. (2017). Lectinas de leguminosas: proteínas com diversas aplicações. *Journal of International Molecular Sciences*, 18(6), 1242
- Landim, L. A. S. R. et al. (2013). Conteúdo de fenólicos totais, antocianinas, taninos e atividade antioxidante de três cultivares de feijão-caupi. *Embrapa Meio-Norte-Artigo em Anais de Congresso (ALICE)*
- Lanteri, M. L. et al. (2023). Metabolite profiling and cytotoxic activity of Andean potatoes: Polyamines and glycoalkaloids as potential anticancer agents in human neuroblastoma cells in vitro. *Food Research International*, 168, 112705. 10.1016/j.foodres.2023.112705
- Lee, J. et al. (2013). Quantificação de amígdalina em amêndoas amargas, semiamargas e doces (*Prunus dulcis*) por UHPLC-(ESI)QqQ MS/MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(32), 7754-7759. 10.1021/jf402295u
- Lemos, L. C. S. Et al. (2019). Avaliação sensorial, microbiológica e dos compostos bioativos de biscoito tipo cookie desenvolvido com bagaço de cerveja e castanha de baru. *Brazilian Journal of Development*, 5(12), 31030-31041
- Liener, I. E. (1994). Implications of antinutritional components in soybean foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 34(1), 31-67
- Lima, V. C. O. et al. (2019). Trypsin inhibitors: promising candidate satietogenic proteins as complementary treatment for obesity and metabolic disorders?. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 34(1), 405-419
- Li, S. et al. (2007). Modification of Sugar Chains in Glycoalkaloids and Variation of Anticancer Activity. *Chemical Research in Chinese Universities*, 23(3), 303-309. 10.1016/S1005-9040(07)60065-8
- Lopez-Moreno, M., Garcés-Rimon, M., & Miguel, M. (2022). Antinutrients: Lectins, goitrogens, phytates and oxalates, friends or foe?. *Journal of Functional Foods*, 89, 104938
- Lumen, B.O de; Salamat, L.A (1980). Trypsin inhibitor activity in winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus*) and the possible role of tannin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Washington DC, 28(3), 533-536
- Ma, T., Sun, Q., Ba, G.-N., Wu, X., Pei, X., Sun, C., Tan, S., & Wan, Z. (2023). Effects of low phytate soymilk intake on calcium, iron and zinc status in male Sprague-Dawley rats. *Journal of Functional Foods*, 106(105595), 105595. 10.1016/j.jff.2023.105595
- Ma, Z., Boye, J I & Hu, X. (2018). Nutritional quality and techno-functional changes in raw, germinated and fermented yellow field pea (*Pisum sativum L.*) upon pasteurization. *LWT*, 92, 147-154
- Machado, R. M. D & Toledo, M. C. F. (1004) Determinação de glicocalcólides em batatas in natura (*Solanum tuberosum L.*) comercializadas na cidade de Campinas, Estado de São Paulo. *Food Science and Technology*, 24(1), 47-52. 10.1590/S0101-20612004000100010
- Maga, J. A. (1982). Phytate: Its chemistry, occurrence, food interactions, nutritional significance, and methods of analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Easton, 30(1), 1-9, 1982
- Maldini, M., et al. (2014). "Moringa oleifera: estudo de fenólicos e glucosinolatos por espectrometria de massa." *Jornal de Espectrometria de Massa*, 49(9), 900-910. 10.1002/jms.3437

- Mantoani, A. C.; Pessato, T. B.; & Tavano, O. L. (2013). Baixa digestibilidade proteica e presença de antinutricionais em produtos tipo mix de cereais. *Nutrire Rev. Soc. Bras. Aliment. Nutr.*, p. 245-255
- Marco, A.; Navarro, J. L.; & Flores, M. (2006). The influence of nitrite and nitrate on microbial, chemical and sensory parameters of slow dry fermented sausage. *Meat Science*, 73(4), 660-673. 10.1016/j.meatsci.2006.03.011
- Martínez-Castro, J. et al. (2023) Bioaccessibility of glucosinolates, isothiocyanates and inorganic micronutrients in cruciferous vegetables through INFOGEST static in vitro digestion model. *Food Research International*, 166, 2023, 9963-9969. 10.1016/j.foodres.2023.112598
- Martins, A. F., et al. (2018) Soybean-derived carbohydrates differently influence insulin sensitivity and blood pressure via gut microbial-dependent and independent mechanisms. *Journal of Functional Foods*, 49, 189-197
- Martins, Q.S. A. et al. (2019). Resíduos da indústria processadora de polpas de frutas: capacidade antioxidante e fatores antinutricionais. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 12(2), 591-608
- Mendes, K. D. S., Silveira, R. C. de C. P., & Galvão, C. M. (2008). Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. *Texto & Contexto - Enfermagem*, 17(4), 758-764. <https://doi.org/10.1590/S0104-07072008000400018>
- Mocniak, L E et al. (2023). Building comprehensive glucosinolate profiles for brassica varieties. *Talanta* , 251, 123814. 10.1016/j.talanta.2022.123814
- Mohan, V.R.; & Kalpanadevi, V. (2013). Effect of processing on antinutrients and in vitro protein digestibility of the underutilized legume, *Vigna unguiculata* (L.) Walp subsp. *unguiculata*. *LWT-Food Science and Technology*, 51(2), 455-461
- Mohn, T. et al. (2007). Extraction and analysis of intact glucosinolates — A validated pressurized liquid extraction/liquid chromatography–mass spectrometry protocol for *Isatis tinctoria*, and qualitative analysis of other cruciferous plants. *Journal of Chromatography A* , 1166(1-2), 142-151. 10.1016/j.chroma.2007.08.028
- Mojica, L. et al. (2015). Bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) have similar high antioxidant capacity, in vitro inhibition of α -amilase and α -glucosidase while diverse phenolic composition and concentration. *Food Research International*, 69, 38-48
- Mosayyebi, B. (2020). An update on the toxicity of cyanogenic glycosides bioactive compounds: Possible clinical application in targeted cancer therapy. *Materials Chemistry and Physics*, 246, 122841. 10.1016/j.matchemphys.2020.122841
- Moses, T. (2014). Diversidade metabólica e funcional de saponinas, intermediários biossintéticos e derivados semissintéticos. *Revisões críticas em bioquímica e biologia molecular*, 49(6), 439-462
- Munialo, C. D.; & Andrei, M. (2023). General health benefits and sensory perception of plant-based foods. In: Engineering plant-based food systems. *Academic Press*, 13-26
- Muntean, D., et al. (2016). Nutritional and functional characteristics of pasta enriched with legume flours: a review. *Food Chemistry*, 196, 849-862
- Muramoto, K. (2017). Lectins as Bioactive Proteins in Foods and Feeds. *Food Science and Technology Research*. 23, 4, 487-494. 10.3136/fstr.23.487
- Nepal, B.; & Stine, K. J. (2023). Atomic force microscopy study of the complexation of sterols and the glycoalkaloid α -tomatine in Langmuir-Blodgett monolayers. *Chemistry and Physics of Lipids*. 252, 105293. /10.1016/j.chemphyslip.2023.105293
- Nepal, B.; & Stine, K. J. (2019). Glycoalkaloids: structure, properties, and interactions with model membrane systems. *Processes*, 7(8), 513
- Niklas, A. A. et al. (2023). Levels of nitrate, nitrite and nitrosamines in model sausages during heat treatment and in vitro digestion – The impact of adding nitrite and spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Food Research International*, 166, 112595, 10.1016/j.foodres.2023.112595
- Oliveira, L. C. et al. (2016). Avaliação da aplicabilidade de farinha de sabugo de milho no enriquecimento de produtos alimentícios. *Nutrição Brasil*, 15(1), 22-29. 10.33233/nb.v15i1.102
- Oliveira, L. C. S.; Kamonsekí, D. H.; & Rostelato-Ferreira, S. (2017). Determinação dos teores de ácido oxálico em diferentes amostras de tomate. *Nutriviva Revista de Nutrição e Vigilância em Saúde*, 4(2), 61-65
- Oliveira, L. G. et al. (2021). Efeitos dos inibidores de alfa-amilase e alfa-glicosidase no tratamento da obesidade: uma revisão integrativa. *Brazilian Journal of Health Review*, 4(6), 26125-26141
- Pacheco, G. D. et al. (2012). Utilização do farelo de gérmen de milho desengordurado, como fonte de fitato, associado à fitase em rações de suínos: efeitos sobre a qualidade da carne e da linguiça tipo frescal. *Semina: Ciências Agrárias*. 819-828. 10.5433/1679-0359.2012v33n2p819
- Paixão, G. A. da. (2022). Propriedades bioativas dos glucosinolatos presentes na Moringa oleifera: uma revisão de literatura. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Farmácia) - Instituto de Ciências Farmacêuticas, Universidade Federal de Alagoas
- Pereira, J. A. R. et al. (2013). Studies of chemical and enzymatic characteristics of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and its flours. *Food Science and Technology*, 33, 75-83
- Pereira, S. D. et al. (2018). Protease inhibitors in leguminous seeds: potential use for human health. *Functional Foods in Health and Disease*, 8(5), 344-360
- Piyaratne, M. K. D. K. et al. (2009). Effects of balancing rice bran based diets for up to four amino acids on growth performance of broilers. *Tropical Agricultural Research & Extension* 12, 2

- Pinheiro, B; Gomes, C; & Baltazar, A. L. (2020). O fitato e a biodisponibilidade de ferro nas leguminosas. *Acta Portuguesa de Nutrição*, 22, 48-51. doi:10.21011/apn.2020.2209
- Pinheiro, L. S. et al. (2021). Determinação do teor de oxalato em alimentos e a sua influência desse íon no organismo humano. *Research, Society and Development*, 10(15), e273101522622-e273101522622
- Pinto, L. C. et al. (2012). Teor de fenólicos totais e atividade antioxidante das sementes da *Carpotroche brasiliensis* (Raddi). *Revista de Ciências Médicas e Biológicas*, 11(2), 170-176
- Pomélie, D. L. et al. (2018). Oxidation and nitrosation of meat proteins under gastro-intestinal conditions: Consequences in terms of nutritional and health values of meat. *Food Chemistry*, 243, 295-304. 10.1016/j.foodchem.2017.09.135
- Ram, S. et al. (2020). Anti-nutritional factors and bioavailability: approaches, challenges, and opportunities. *Woodhead Publishing Series in Food Science*, p. 101-128. 10.1016/B978-0-12-818444-8.00004-3
- Ridout, C. L. et al. (1991) Quinoa saponins—analysis and preliminary investigations into the effects of reduction by processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 54(2), 165-176
- Rivas, M. E., et al. (2013). Simultaneous quantification of raffinose and stachyose in foods by high-performance liquid chromatography with evaporative light scattering detection. *Food Chemistry*, 136(2), 1049-1053, 2013
- Rocha, B. S. et al. (2014). A shortcut to wide-ranging biological actions of dietary polyphenols: modulation of the nitrate–nitrite–nitric oxide pathway in the gut. *Food & function*, 5(8), 1646-1652
- Rodriguez-Díaz, J. C., et al. (2017). Optimization of the extraction of verbascose from soybean meals and analysis by HPLC-ELSD and HILIC-ELSD. *Journal of Food Composition and Analysis*, 59, 52-57
- Rozan, M; Alamri, E; & Bayomy, H. (2022). Fermented Hass avocado kernel: Nutritional properties and use in the manufacture of biscuits. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(6), 103295
- Saa, R. W. et al. (2022). Effect of soaking, germination, and roasting on the proximate composition, antinutrient content, and some physicochemical properties of defatted *Moringa oleifera* seed flour. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(3), e16329. 10.1111/jfpp.16329.
- Sahni, P; & Sharma, S. (2020). Influence of processing treatments on cooking quality, functional properties, antinutrients, bioactive potential and mineral profile of alfalfa. *LWT*, 132, 109890, 2020.
- Santillo, A. et al. (2022). Feeding tannins to dairy cows in different seasons improves the oxidative status of blood plasma and the antioxidant capacity of cheese. *Journal of Dairy Science*, 105, 8609-8620. 10.3168/jds.2022-22256
- Santos, C. M. (2021). Antinutrientes e atividade antioxidante da farinha de subprodutos do mamão. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 37(1),
- Santos, M. A. T. (2006). Efeito do cozimento sobre alguns fatores antinutricionais em folhas de brócolis, couve-flor e couve. *Ciência e Agrotecnologia*, 30, 294-301
- Sgarbieri, V. C. (1987). Alimentação e nutrição: fator de saúde e desenvolvimento. *Almed*, p.387
- Shang, R. et al. (2016). The diversity of four anti-nutritional factors in common bean. *Horticultural Plant Journal*, 2(2), 97-104
- Sheikh, M. A. et al. (2022). Synergistic effect of microwave heating and hydrothermal treatment on cyanogenic glycosides and bioactive compounds of plum (*Prunus domestica* L.) kernels: An analytical approach. *Current Research in Food Science*, 5, 65-72. doi:10.1016/j.crf.2021.12.007
- Shukla, V. et al. (2023). Unveiling the intricacies of phytate antinutrients in millets and their therapeutic implications in breast cancer. *Intelligent Pharmacy*. doi:10.1016/j.ipha.2023.12.005
- Silva, E. O. et al. (2013). Bioactive compounds and antinutritional factors in different bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Science and Technology*, 33(2), 298-303
- Silva, M. R. et al. (2000). Fatores antinutricionais: inibidores de proteases e lectinas. *Revista de Nutrição*, 13(1), 3-9. doi:10.1590/S1415-5273200000100001
- Silva, M. R; & Silva, M. A. A. P. (1999). Aspectos nutricionais de fitatos e taninos. *Revista de Nutrição*, 12(1), 21-32. doi:10.1590/S1415-52731999000100002.
- Tajner-Czopek, A.; et al., (2008). Changes in glycoalkaloids content of potatoes destined for consumption. *Food Chemistry*, 106(2), 706-711
- Tanwar, B. et al. (2018). Antinutritional factors and hypocholesterolemic effect of wild apricot kernel (*Prunus armeniaca* L.) as affected by detoxification. *Food Funct*, 9, 2121-2135. doi:10.1039/C8FO00044A
- Tucci, S. A.; et al. (2010) The role of lipid and carbohydrate digestive enzyme inhibitors in the management of obesity: a review of current and emerging therapeutic agents. *Diabetes, metabolic syndrome and obesity: targets and therapy*, p. 125-143
- Udomkun, P. et al. (2019). Promoting the use of locally produced crops in making cereal-legume-based composite flours: An assessment of nutrient, antinutrient, mineral molar ratios, and aflatoxin content. *Food Chemistry*, 286, p. 651-658. 10.1016/j.foodchem.2019.02.055.
- Vasconcelos, I. M; & Oliveira, J. T. A. (2004). Antinutritional properties of plant lectins. *Toxicon*, 44, 385-403 <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2004.05.005>.

- Veken, D. V. et al. (2023). Challenge tests reveal limited outgrowth of proteolytic *Clostridium botulinum* during the production of nitrate- and nitrite-free fermented sausages. *Meat Science*, 200, 109158. doi:10.1016/j.meatsci.2023.109158.
- Vieira, M. A. et al. (2009). Análise de compostos fenólicos, metilxantinas, tanino e atividade antioxidante de resíduo do processamento da erva-mate: uma nova fonte potencial de antioxidantes. *International Workshop–Advances In Cleaner Production*, p. 1-11.
- Vinarova, L. et al. (2015). Lowering of cholesterol bioaccessibility and serum concentrations by saponins: in vitro and in vivo studies. *Food & function*, 6(2), 501-512.
- Volk, G. M., et al. (2002). The role of druse and raphide calcium oxalate crystals in tissue calcium regulation in *Pistia stratiotes* leaves. *Plant Biology*, 4, 34-45.
- Wafula, E. N. et al. (2022). Antinutrient to mineral molar ratios of raw common beans and their rapid prediction using near-infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 130773
- Weilack, I. (2023). Grape-derived pectic polysaccharides alter the tannin and pigment composition of Cabernet Sauvignon red wines. *Current Research in Food Science*, 6, 100506. 10.1016/j.crfs.2023.100506
- Wu, M. (2021). Melamine and oxalate co-exposure induces early kidney tubular injury through mitochondrial aberrations and oxidative stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 225, 112756. 10.1016/j.ecoenv.2021.112756
- Yoo, H. D., et al. (2018). Effect of verbascose on insulin resistance and gut microbiota in high-fat diet-fed mice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(30), 8033-804
- Yong, S. X. M.; Song, C. P.; & Choo, W. S. (2021). Impact of high-pressure homogenization on the extractability and stability of phytochemicals. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 593259
- Yu, B.; Patterson, N.; & Zaharia, L. (2022). Saponin Biosynthesis in Pulses. *Plants (Basel)*, 11(24):3505. 10.3390/plants11243505
- Yue, L. et al. (2023). 1-Methylcyclopropene promotes glucosinolate biosynthesis through BrWRKY12 mediated jasmonic acid biosynthesis in postharvest flowering Chinese cabbage. *Postharvest Biology and Technology*, 203, 112415. 10.1016/j.postharvbio.2023.112415
- Zhang, N. et al. (2019). Changes of amygdalin and volatile components of apricot kernels during the ultrasonically-accelerated debitterizing. *Ultrasonics Sonochemistry*, 58, 104614, 10.1016/j.ultsonch.2019.104614
- Zhong, Y. et al. (2021). Effect of ultrasonic pretreatment on eliminating cyanogenic glycosides and hydrogen cyanide in cassava. *Ultrasonics Sonochemistry*, 78, 105742. doi:10.1016/j.ultsonch.2021.105742