

Uso de tecnologias não convencionais para extração de compostos bioativos de subprodutos de frutas e vegetais: revisão

Use of unconventional technologies to extract bioactive compounds from fruit and vegetable by-products: review

Uso de tecnologías no convencional para extraer compuestos bioactivos de subproductos de frutas y hortalizas: revisión

Recebido: 19/09/2022 | Revisado: 04/10/2022 | Aceitado: 14/10/2022 | Publicado: 19/10/2022

Heloísa de Fátima Mendes Justino

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9575-9460>
Universidade Federal de Viçosa, Brasil
E-mail: heloisa.justino@ufv.br

Jeferson Silva Cunha

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6722-9051>
Universidade Federal de Viçosa, Brasil
E-mail: jeferson.cunha@ufv.br

Ana Flávia Coelho Pacheco

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7220-1432>
Universidade Federal de Viçosa, Brasil
E-mail: ana.f.pacheco@ufv.br

Flaviana Coelho Pacheco

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1302-8059>
Universidade Federal de Viçosa, Brasil
E-mail: flaviana.coelho@ufv.br

Caio César Nemer Martins

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3980-6514>
Universidade Federal de Viçosa, Viçosa
E-mail: caionemer13@hotmail.com

Paulo Henrique Costa Paiva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5455-7790>
Instituto de Laticínios Cândido Tostes, Brasil
E-mail: paulohcp@epamig.br

Bruno Ricardo de Castro Leite Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9030-2819>
Universidade Federal de Viçosa, Brasil
E-mail: bruno.leitejr@ufv.br

Resumo

Devido a projeção de crescimento populacional para as próximas décadas, a demanda pela produção de alimentos vem desencadeando um aumento na geração de subprodutos agroindustriais. No passado, esses subprodutos eram vistos como uma problemática a ser solucionada, porém, no cenário atual, eles podem servir como matéria-prima para diversas indústrias, sendo a principal estratégia utilizada para o desenvolvimento de produtos e processos e, também, para a extração de compostos de interesse, como os compostos bioativos. Os compostos bioativos são divididos em grupos contendo várias substâncias e, dentre elas, destacam-se os polifenóis e carotenoides, que podem expressar atividades biológicas e funcionais importantes, despertando a atenção para sua extração. Neste contexto, a aplicação de tecnologias inovadoras de extração nas indústrias de alimentos tem sido amplamente estudada e investigada, principalmente devido ao aumento da consciência dos consumidores por opções mais ecológicas que não incluam a utilização de solventes orgânicos nocivos à saúde. Dessa forma, extrações assistidas por tecnologias não convencionais ou emergentes como ultrassom (US), micro-ondas (MO), fluido supercrítico (FS), fluido pressurizado (FP), alta pressão hidrostática (AP) e campo elétrico pulsado (CEP) têm demonstrado diversas vantagens quando comparadas aos métodos de extração tradicionais, como uso de temperaturas moderadas e menor tempo de extração, porém ainda enfrentam barreiras para sua inserção à nível industrial. Portanto, esta revisão visa apresentar os compostos bioativos provenientes de frutas e vegetais e seus métodos de extração, enfatizando o potencial das tecnologias emergentes para tal finalidade.

Palavras-chave: Subprodutos; Matriz vegetal; Tecnologias emergentes; Processamento de alimentos.

Abstract

Due to the projection of population growth for the next decades, the demand for food production has been triggering an increase in the generation of agro-industrial waste/by-products. In the past, these by-products were seen as a problem to be solved, however, in the current scenario, they can serve as raw material for several industries, being the main strategy used for the development of products and processes and, also, for the extraction of compounds of interest, such as bioactive compounds. The bioactive compounds are divided into groups containing several substances and, among them, the polyphenols and carotenoids stand out, which can express important biological and functional activities, drawing attention to their extraction. In this context, the application of innovative extraction technologies in the food industries has been widely studied and investigated, mainly due to the increase in consumer awareness of more ecological options that do not include the use of organic solvents harmful to health. Thus, extractions assisted by unconventional or emerging technologies such as ultrasound (US), microwave (MO), supercritical fluid (FS), pressurized fluid (FP), high hydrostatic pressure (AP) and pulsed electric field (CEP) have demonstrated several advantages. when compared to traditional extraction methods, such as the use of moderate temperatures and shorter extraction time, but they still face barriers to their insertion at an industrial level. Therefore, this review aims to present the bioactive compounds from fruits and vegetables and their extraction methods, emphasizing the potential of emerging technologies for this purpose.

Keywords: By-products; Vegetable matrix; Emerging technologies; Food processing.

Resumen

Debido a la proyección de crecimiento poblacional para las próximas décadas, la demanda por la producción de alimentos ha venido desencadenando un aumento en la generación de residuos/subproductos agroindustriales. En el pasado, estos subproductos eran vistos como un problema a resolver, sin embargo, en el escenario actual, pueden servir como materia prima para diversas industrias, siendo la principal estrategia utilizada para el desarrollo de productos y procesos y, también, para la extracción de compuestos de interés, tales como compuestos bioactivos. Los compuestos bioactivos se dividen en grupos que contienen varias sustancias y, entre ellas, destacan los polifenoles y los carotenoides, que pueden expresar importantes actividades biológicas y funcionales, llamando la atención su extracción. En este contexto, la aplicación de tecnologías de extracción innovadoras en las industrias alimentarias ha sido ampliamente estudiada e investigada, principalmente debido al aumento de la concienciación de los consumidores sobre opciones más ecológicas que no incluyen el uso de disolventes orgánicos nocivos para la salud. Así, las extracciones asistidas por tecnologías no convencionales o emergentes como ultrasonido (US), microondas (MO), fluido supercrítico (FS), fluido presurizado (FP), alta presión hidrostática (AP) y campo eléctrico pulsado (CEP) han demostrado varias ventajas cuando en comparación con los métodos de extracción tradicionales, como el uso de temperaturas moderadas y tiempos de extracción más cortos, pero aún enfrentan barreras para su inserción a nivel industrial. Por lo tanto, esta revisión tiene como objetivo presentar los compuestos bioactivos de frutas y verduras y sus métodos de extracción, enfatizando el potencial de las tecnologías emergentes para este fin.

Palabras clave: Subproductos; Matriz vegetal; Tecnologías emergentes; Procesamiento de alimentos.

1. Introdução

O rápido crescimento da população mundial fez com que as demandas por diversos recursos alimentares acelerassem exponencialmente (Choe et al., 2022). Com isso, abriu-se um caminho para a industrialização e modernização das agroindústrias, levando a um aumento da diversidade e da quantidade de produtos fabricados. Como resposta a esse desenvolvimento, tem-se a geração de enormes quantidades de subprodutos agroindustriais provenientes dos alimentos (Awasthi et al., 2022). Uma grande parcela de subprodutos é gerada a partir do processamento de frutas e hortaliças, incluindo folhas, cascas, polpas inutilizáveis, sementes, frutos de descarte e caroços (Fernández et al., 2018), que geralmente são descartados de forma inapropriada em aterros sanitários, principalmente devido ao alto custo associado aos seus métodos de tratamento para redução da carga orgânica (Awasthi et al., 2022).

No entanto, estudos recentes revelaram que os subprodutos agroindustriais apresentam uma gama de aplicabilidades, podendo ser explorados em vários segmentos industriais. Como exemplo, os caroços de ameixa obtidos após o processamento de ameixas para produção de geleias, marmeladas e sucos, podem ser utilizados com êxito para obtenção de carbono ativo (Nowicki, Wachowska, & Pietrzak, 2010), adsorvente carbonáceo (Nowicki et al., 2010) e, além disso, são considerados uma fonte de baixo custo de compostos biologicamente ativos (Górnaś et al., 2016).

Neste contexto, os subprodutos de frutas e vegetais (cascas, sementes, flores, folhas, caule, bagaço, bagaço) apresentam uma significativa quantidade de compostos bioativos, como ácidos fenólicos, flavonóides, antocianinas,

carotenóides, vitamina C, entre outros (Kabir et al., 2015). Esses compostos podem expressar atividades biológicas, como atividades antioxidante e antimicrobiana, e têm sido utilizados como ingredientes para desenvolver novos produtos alimentícios funcionais com alta aceitação e interesse dos consumidores (Socaci, 2017). Além disso, eles também podem ser usados como nutracêuticos em produtos medicinais e farmacêuticos (Coman et al., 2020).

Portanto, para a analisar, investigar e explorar estes constituintes é necessária sua extração a partir da matriz celular vegetal. Diferentes tecnologias têm sido aplicadas, podendo ser classificadas como convencionais e não convencionais/emergentes (Casquete et al., 2015). As técnicas convencionais abrangem a extração com solventes orgânicos, com ou sem aquecimento e agitação (Rodriguez-Perez et al., 2015). Já as emergentes, como extração assistida por ultrassom (EUS) e extração assistida por micro-ondas (EMO), têm como objetivo a preservação do meio ambiente, reduzindo ou eliminando o uso de solventes orgânicos e gasto de energia. Além disso, essas tecnologias minimizam a degradação dos compostos bioativos, pois utilizam temperaturas menores e proporcionam um menor tempo de extração (Tiwari, 2015) e, por esse motivo, têm despertado o interesse da comunidade científica e das indústrias.

Assim, o objetivo desse trabalho é revisar sobre os compostos bioativos presentes nos subprodutos agroindustriais advindos de frutas e vegetais e apresentar o potencial das tecnologias emergentes para a extração desses compostos. Com isso, espera-se dar uma orientação tecnológica e atualizar a comunidade científica, indústrias e a quem mais interessar sobre os estudos relacionados à extração de compostos bioativos, além de contribuir para o progresso de uma produção mais sustentável.

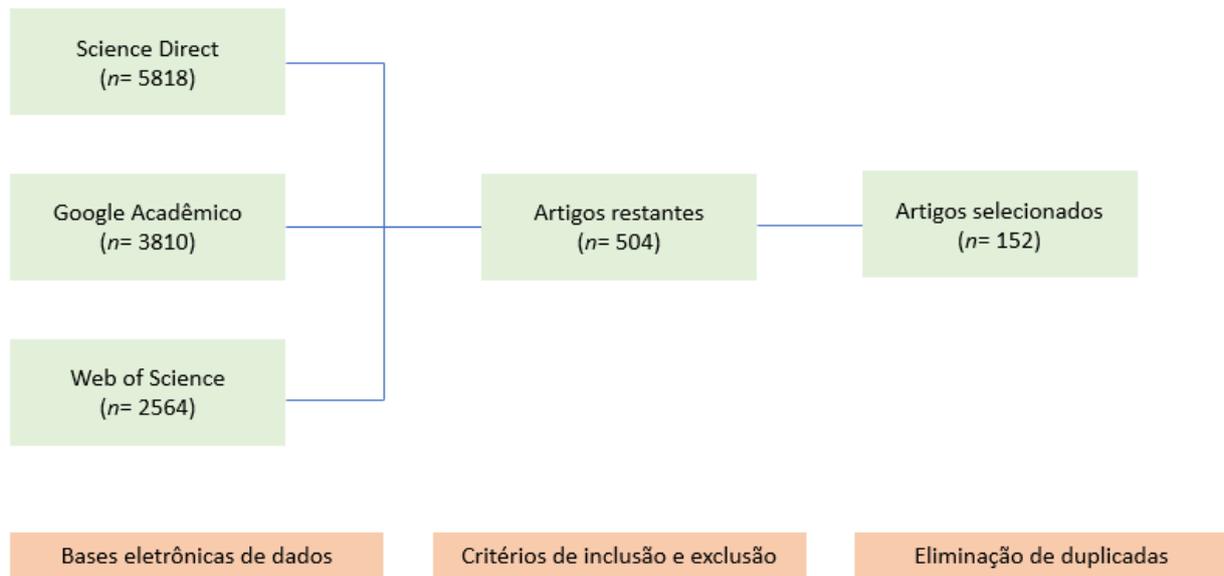
2. Metodologia

Este estudo enquadra-se como uma revisão narrativa, que busca analisar novas perspectivas sobre o tema em questão, com abordagens de conclusões inovadoras e indagações sobre a linha de pesquisa, não se caracterizando como uma repetição do que já existe na literatura (Marconi & Lakatos, 2011).

Para sua elaboração, foi realizada a pesquisa de artigos científicos, monografias, teses e dissertações publicados e disponíveis em diferentes bases de indexação, a fim de se ter uma maior heterogeneidade. Dessa forma, usou-se as seguintes palavras chaves: “compostos bioativos de subprodutos”, “compostos bioativos em frutas e vegetais”, “extração de compostos bioativos”, “extração de compostos bioativos por tecnologias não convencionais”, “extração de compostos bioativos por tecnologias emergentes”.

As informações obtidas sobre o tema foram extraídas das seguintes bases de dados: Science direct (Elsevier), Google Acadêmico e Web of Science. Inicialmente, foram selecionados 5818 no Science Direct, 3810 no Google acadêmico e 2564 no Web of Science. Após a aplicação dos critérios de inclusão exclusão e eliminação de duplicatas, a amostragem final foi de 152 artigos, conforme demonstrado na Figura 1. Os critérios escolhidos para a seleção dos artigos incluíram publicações em língua inglesa e portuguesa, entre os anos de 1996 a 2022.

Figura 1. Esquema para a busca de dados científicos em bases de indexação.



Fonte: Autores.

3. Resultados e Discussão

3.1 Geração de subprodutos agroindustriais

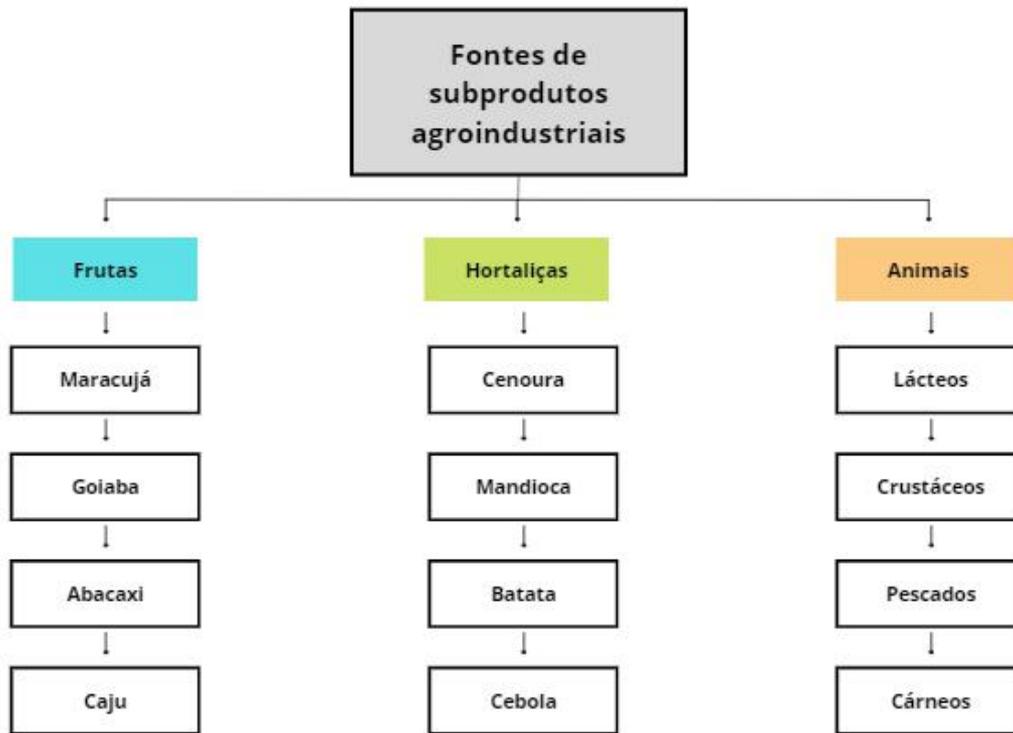
Devido à crescente industrialização e ao crescimento populacional, a produção global de alimentos deve aumentar em 60% até 2050 (FAO, 2011). Este aumento resultará em uma maior produção de subprodutos agroalimentares e se tornará um grave problema, que já vem despertando o interesse da comunidade científica e alertando a população como um todo (Varjani & Upasani, 2021).

Os setores alimentício e agrícola são responsáveis por gerar uma quantidade considerável de subprodutos, que podem ser utilizados como matéria-prima para a obtenção de produtos de alto valor agregado, possibilitando a existência de várias alternativas para uma produção sustentável do ponto de vista econômico e ambiental. Dessa forma, a reutilização sustentável da biomassa de subprodutos agroindustriais visando a produção de novos alimentos, medicamentos, obtenção de compostos biologicamente ativos e biomateriais é um dos maiores desafios do século XXI (Ng et al., 2020).

Segundo a FAO (2011), é estimado que aproximadamente um terço da produção de alimentos (equivalente a cerca de 1,3 bilhão de toneladas) é perdido ou desperdiçado anualmente em todo o mundo, e deve chegar a 2,6 bilhões de toneladas até 2025 (Sinha & Pushplata, 2021). Essa perda ocorre ao longo de toda a cadeia produtiva, e o gerenciamento desses subprodutos representa cerca de 143 bilhões de euros em todo o mundo (Ravindran et al., 2018).

Os subprodutos agroindustriais são obtidos a partir do processamento de alimentos de origem animal e vegetal (frutas, hortaliças, oleaginosas), conforme o esquema resumido na Figura 2.

Figura 2. Geração de subprodutos de diferentes fontes.



Fonte: Autores.

As frutas e os vegetais como legumes, raízes e tubérculos representam cerca de 40 a 50% da quantidade total de alimentos desperdiçados (Ravindran et al., 2018). Em particular, os resíduos e/ou subprodutos de frutas e vegetais acumulados pelas agroindústrias de alimentos são geralmente compostos por sementes, cascas e bagaços (Sharma et al., 2021). A Tabela 1 mostra um compilado de trabalhos desenvolvidos com subprodutos de origem vegetal e suas aplicabilidades em diferentes setores industriais.

Tabela 1. Aplicabilidades dos subprodutos advindos de frutas e vegetais em diferentes setores industriais.

Alimento	Subprodutos gerados	Aplicabilidade (s) dos subprodutos	Referências
Manga	Sementes	Produção de ração animal; produção de carvão ativado para uso no tratamento de água	González & Montoya, 2007; Vieira, 2007
Abóbora	Sementes	Extração de proteínas com propriedades funcionais de interesse industrial	Das, Devi & Badwaik, 2022
Banana	Cascas	Extração de pectina e compostos fenólicos com propriedade antioxidante	Lai et al., 2022; Lanjekar, Gokhale & Rathod, 2022
Abacaxi	Cascas	Extração de compostos bioativos com propriedades funcionais	Cádiz-Gurrea et al., 2020
Cenoura	Cascas	Produção de pó com alto teor de fibra alimentar; Extração de carotenóides; Desenvolvimento de fontes medicinais alternativas	Chantaro, Devahastin & Chiewchan, 2008; Hiranvarachat & Devahastin, 2014; El-Sawi et al., 2022
Mandioca	Cascas e bagaço	Extração de amido, utilizando-os como cargas de filmes termoplásticos de amido de milho	Florencia, López & García, 2020
Aguapé	Raízes	Remoção do corante reativo vermelho BF – 4B de meio aquoso, podendo ser utilizado na indústria têxtil	Rigueto et al., 2020
Milho	Sabugo	Extração de xilana; Extração de celulose e hemicelulose para convertê-las em nanopartículas	Hromádková, Kováčiková & Ebringerová, 1999; Louis & Venkatachalam, 2020

Fonte: Autores.

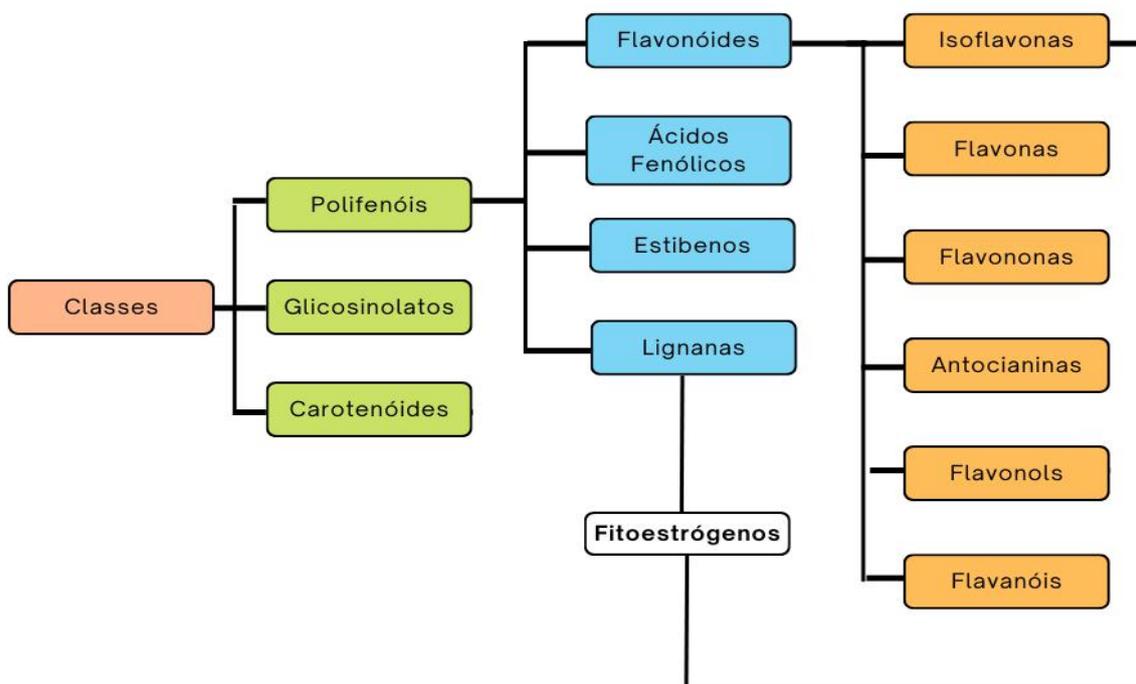
Em um passado distante, os subprodutos agroindustriais eram uma das principais complicações relacionadas a cadeia produtiva de alimentos, devido os seus custos de remoção relativamente altos, além do impacto ambiental ocasionado pelo seu descarte (Cattaneo et al., 2020). Em um passado recente, os subprodutos não eram vistos nem como um custo nem um benefício, pois eram utilizados principalmente para compostagem ou na produção de ração animal (Nazzaro et al., 2018). No entanto, atualmente este cenário vem mudando, em virtude do surgimento de novas tecnologias para possibilitar o reaproveitamento destes materiais, agregando valor aos mesmos (Udugama et al., 2019).

3.2 Compostos bioativos em frutas e vegetais

Uma dieta tradicional fornece micro e macronutrientes essenciais, além de compostos que podem exercer atividades biológicas. Esses compostos, chamados de compostos bioativos ou fitoquímicos, são constituintes extra nutricionais que podem ser encontrados em subprodutos de frutas e vegetais. O interesse nestes compostos cresce a cada ano, e vários dos seus efeitos biológicos já foram comprovados.

Os compostos bioativos possuem estruturas químicas diferentes e, conseqüentemente, funções biológicas diferentes. Porém, eles possuem algumas características em comum: são substâncias orgânicas e geralmente de baixo peso molecular, além de não serem sintetizados pelo organismo humano. Do ponto de vista biológico, essas substâncias exercem vários efeitos, como atividade antioxidante, estimulação do sistema imunológico, redução da agregação plaquetária, regulação do metabolismo hormonal, redução da pressão arterial e atividade antibacteriana e antiviral. Como existem em grande número, eles podem ser divididos em grupos contendo vários compostos diferentes. Algumas substâncias pertencem a espécies ou gêneros vegetais, outras estão relacionadas por critérios taxonômicos complexos (Carratu & Sanzini, 2005) (Figura 3).

Figura 3. Subdivisão dos compostos bioativos presentes em alimentos de origem vegetal.



Fonte: Adaptada de Carratu e Sanzini (2005).

As frutas e vegetais apresentam uma ampla variedade de compostos bioativos e, nas últimas décadas, diversos estudos têm sido desenvolvidos a fim de identificar e quantificar esses compostos. Dentre as classes, os polifenóis e os carotenóides destacam-se devido seus papéis importantes nas características sensoriais de frutas e hortaliças (Santos, 2017).

Nos alimentos, os carotenóides estão presentes em vegetais folhosos, como brócolis e espinafre; em vegetais não folhosos como cenoura, abóbora e pimenta; e em frutas, por exemplo, melancia, mamão, tomate e manga (Rodríguez-Concepcion et al., 2018). Além de serem responsáveis por uma coloração intensa que varia entre tonalidades amareladas e avermelhadas, esses pigmentos possuem importantes propriedades relacionadas à saúde, tornando-os ingredientes importantes na ciência e tecnologia de alimentos, não apenas como potenciais fontes de corantes, mas também como ingredientes funcionais (Lombardelli et al., 2021).

Sob o ponto de vista químico, os carotenóides originam-se essencialmente de tetraterpenos (classificam-se como hidrocarbonetos que apresentam 40 átomos de carbono), contendo extensas cadeias de sistemas de ligações duplas conjugadas (Mordi et al., 2020). Na natureza, os carotenóides ocorrem principalmente na configuração isomérica all-trans mais estável, com pequenas quantidades de isômeros cis, que também podem ser produzidos a partir de formas all-trans durante o processamento e/ou digestão (Rodríguez-Concepcion et al., 2018).

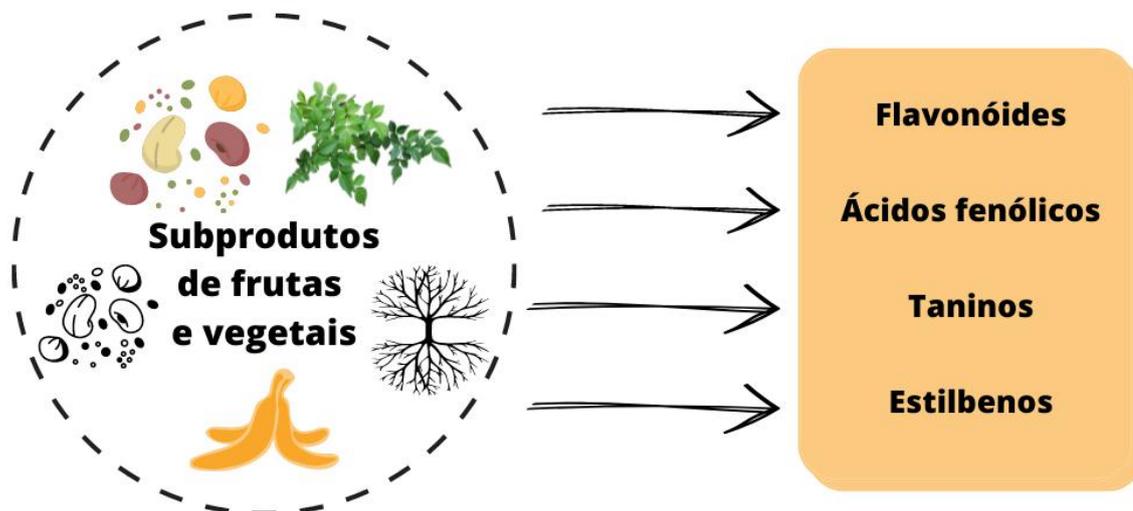
Os alimentos que apresentam um teor considerável de carotenóides podem ser importantes como nutracêuticos, já que esses compostos executam o papel de precursores da vitamina A, uma vez que, em termos estruturais, a molécula de β -caroteno corresponde a duas moléculas de retinol (vitamina A) ou atuam como substâncias antioxidantes (devido à presença de ligações duplas) (Ndayishimiye & Chun, 2017; Barreira et al., 2019). Sendo assim, seu consumo está relacionado à prevenção de diversas doenças crônicas, incluindo doenças oculares (Giannaccare et al., 2020), fibrose hepática (Algandaby, 2018), câncer de pele e doenças cardiovasculares (Ndayishimiye & Chun, 2017), entre outras.

Os carotenóides podem ser extraídos por diversos métodos, convencionais ou não, e a eficácia dessa extração pode variar dependendo dos solventes utilizados e das condições operacionais (Saini & Keum, 2018). Assim, as principais técnicas incluem Soxhlet, maceração, extração assistida por micro-ondas e/ou ultrassom, extração por líquido pressurizado, extração

por fluido supercrítico, extração assistida por campo elétrico pulsado e extração assistida por enzimas.

Os polifenóis encontrados nos subprodutos de frutas e vegetais podem ser divididos em diferentes categorias, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4. Principais polifenóis encontrados em frutas e vegetais.



Fonte: Autores.

Os flavonóides são produtos metabólicos secundários da família dos polifenóis comumente encontrados em alimentos de origem vegetal como frutas, verduras e grãos. São normalmente encontrados como derivados conjugados ligados a açúcares, tais como os o-glicosídeos (de Oliveira, 2021).

Em relação à estrutura química, os flavonóides são benzopironas com dois anéis aromáticos (geralmente chamados de A e B) ligados através de um anel heterocíclico pirano (geralmente rotulado como C) e são sintetizados através da via do ácido chiquímico (anteriormente conhecida como via fenilpropanóide) (Sharma et al., 2019). Existem diversas subclasses de flavonóides, como flavanonas, flavonóis, flavonas, antocianidinas, chalconas, flavanóis, isoflavonas, sendo que diferença entre elas é estabelecida pelo nível de oxidação e substituição do anel C, enquanto cada composto dentro de uma classe varia nos padrões de substituição de os anéis A e B (Tapas et al., 2018).

Eles têm efeitos bioquímicos benéficos em várias doenças (por exemplo, doenças cardiovasculares, aterosclerose), bem como outras atividades biológicas (por exemplo, anti-inflamatória, antienvhecimento) (Güven et al., 2019; Williamson et al., 2018; Gentile et al., 2018). Entretanto, a atividade biológica principal dos flavonóides, que tem recebido ampla atenção, é sua atividade antioxidante, que é expressada através da eliminação de espécies reativas de oxigênio, da ativação de enzimas antioxidantes e da inibição de oxidases, prevenindo, portanto, os danos causados pelos radicais livres (Williamson et al., 2018).

A extração de flavonóides é baseada no princípio de compatibilidade similar. São selecionados solventes adequados de acordo com a polaridade e solubilidade dos flavonóides, e certos métodos de quebra de parede são auxiliados para separação primária. Diversas técnicas podem ser usadas, algumas delas similares à extração de carotenoides, como extração por etanol, extração ultrassônica, extração ultrassônica assistida por micro-ondas, extração de fluido supercrítico e extração de ultra alta pressão (Cui et al., 2022).

O termo “ácidos fenólicos” é usado para descrever os compostos fenólicos com um grupo ácido carboxílico. Quimicamente, esses compostos possuem no mínimo um anel aromático no qual pelo menos um hidrogênio é substituído por um grupo hidroxila. Os ácidos fenólicos podem ser encontrados em quase todos os alimentos derivados de plantas, como

sementes, cascas de frutas e vegetais, sendo que os ácidos cafeico e ferúlico são os ácidos fenólicos mais encontrados e estudados (Heleno et al., 2015).

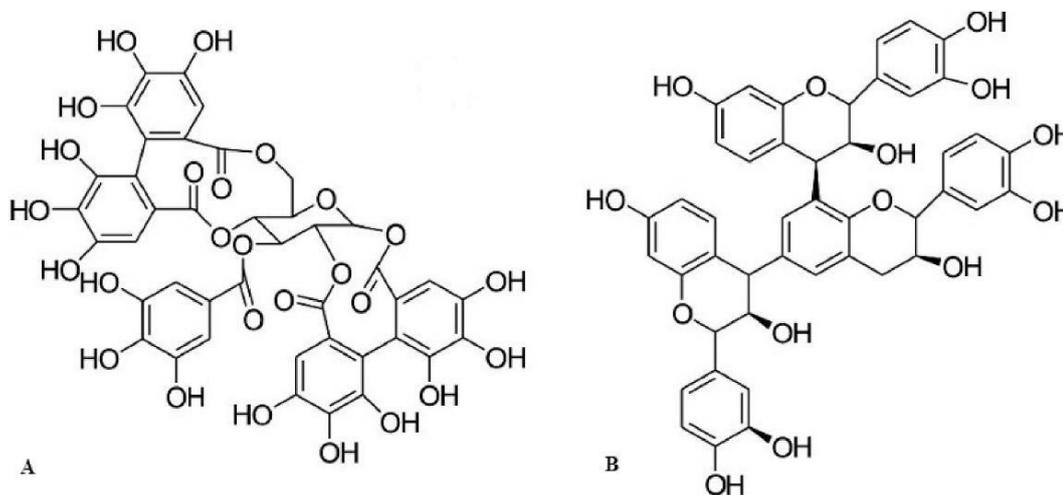
Os ácidos fenólicos são conhecidos por diversas aplicações biológicas, sendo os principais polifenóis produzidos pelas plantas e que são utilizados por indústrias terapêuticas, cosméticas e alimentícias. Dentre as suas funções biológicas, destacam-se seu potencial antioxidante, antidiabético, antimicrobiano, neuroprotetor e anticancerígeno (Kumar et al., 2019).

É complexo selecionar uma única metodologia para extração de fenólicos de diferentes produtos vegetais, pois a extração pode variar de acordo com alguns fatores, como a natureza da matriz da amostra e das propriedades químicas dos fenólicos desejados (número de anéis aromáticos e grupos hidroxila em sua estrutura, polaridade e concentração). Diferentes solventes, como água, acetona, met/et/prop-anol, acetato de etila, sozinhos ou misturados, podem ser usados para obter alto rendimento do(s) fenólico(s) desejado(s), porém, a escolha do solvente utilizado para extrair os compostos podem influenciar na composição final e na bioatividade do extrato (Heleno et al., 2015; Martins et al., 2015; Khoddami et al., 2013).

Os taninos são compostos polifenólicos na forma de moléculas oligoméricas, incluindo múltiplas unidades estruturais com grupos fenólicos livres. Os taninos são solúveis em água quente, com exceção de algumas moléculas de alto peso molecular e altamente ramificadas. Eles têm a capacidade de se ligar a proteínas específicas para formar complexos insolúveis de tanino-proteína (Kemppainen et al., 2014).

Em geral, os taninos são apresentados em dois grupos principais, sendo eles os taninos condensados e taninos hidrolisáveis. Os taninos condensados são compostos por flavonóides (flavan 3-ol ou flavan 3,4-diol) sem núcleo de açúcar, porém, os taninos hidrolisáveis são compostos de ácidos elágico e gálico com núcleo de açúcar, constituídos principalmente de glicose (Khanbabaee & van Ree, 2001; Sharma, 2019). A Figura 5 demonstra a estrutura dessas duas subclasses.

Figura 5. Estrutura dos taninos: (A) hidrolisáveis e (B) condensados.



Fonte: Raja et al. (2014).

Estudos *in vivo* revelaram que os taninos possuem atividades antioxidantes, anti-inflamatórias e antiapoptóticas, além de inibição da expressão de TGF- β 1 e síntese de MEC (Wang et al., 2014). Os taninos são extraídos apenas com água ou por mistura com outros solventes como metanol, etanol, acetona, NaOH. A relação sólido/solvente e a temperatura de extração são muito importantes para a extração de taninos (Poaty et al., 2010; Naima et al., 2015; Arinaa e Harisuna, 2019; Luo et al., 2019; Rhazi et al., 2019; Dentinho et al., 2020; Duraisamy et al., 2020; Martins et al., 2020).

Os estilbenos são metabólitos secundários e podem ser encontrados tanto na conformação E quanto na conformação Z, sendo que estudos indicam que a conformação E ou trans tem maior potencial em sua atividade e também é

termodinamicamente mais estável em relação à conformação Z ou forma cis ((Khan et al., 2017). É possível encontrar mais de 400 estilbenos naturais, porém, apenas em um grupo heterogêneo de plantas, visto que a enzima que os produz, estilbeno sintetase, não é expressa em todos os momentos (Ortega et al., 2015).

Esses compostos podem ser encontrados principalmente nas folhas e na casca das uvas, no vinho, amendoins, mirtilos, framboesas e amoras. Entre os estilbenos, destaca-se o resveratrol, isso devido sua capacidade anti-inflamatória, antienvhecimento, cardioprotetor e antioxidante (Courtois et al., 2017; Gonçalves et al., 2017).

3.3 Aspectos nutricionais e compostos bioativos em subprodutos de frutas e vegetais

As sociedades afluentes enfrentam muitas adversidades que envolvem a relação entre as pessoas e os alimentos, sendo que de um lado é crescente os indicadores da desnutrição humana, do outro, é averiguado uma grande quantidade de alimentos desperdiçados. Esses problemas podem ser atribuídos ao funcionamento de uma economia de mercado, na qual as empresas desenvolvem produtos que atendem às necessidades momentâneas de consumidores individuais. Para resolver problemas sociais, é necessário desenvolver diferentes abordagens que se alinhem aos objetivos de longo prazo e tragam benefícios às comunidades, ao meio ambiente e à sociedade (Trigo et al., 2020).

O desperdício de alimentos influencia de forma negativa nas três dimensões da sustentabilidade: ambiental, econômica e social. No âmbito ambiental e econômico, representa desperdício de recursos naturais e aumento de custos, já no social representa uma questão moral, pois cerca de 800 milhões de pessoas passam fome no mundo (Costa et al., 2022). Devido ao seu baixo custo e fácil disponibilidade, os subprodutos são capazes de oferecer nutrientes de baixo custo, visto que, na maioria das vezes, cascas, caroços e sementes são descartados, sendo que podem vir a ser utilizados como matéria-prima em diversas formulações ou serem utilizados para extração de compostos de interesse.

Os subprodutos de frutas e vegetais apresentam excelente composição nutricional, muitas das vezes superior às partes comestíveis. Bramont et al (2018) realizaram uma comparação da composição centesimal, mineral e fitoquímica de polpas e cascas de dez diferentes frutas: atemoia, cajarana, fruta-pão, graviola, jaca, lichia, mangaba, sapoti, seriguela e pinha. Os resultados revelaram que a concentração dos minerais nas cascas das frutas foi superior quando comparada às polpas, e os maiores teores de antocianinas e flavonoides foram verificados nas cascas da lichia e da mangaba. Além disso, a maioria das frutas apresentou maior concentração dos parâmetros investigados nas cascas quando comparada com as respectivas polpas.

É possível encontrar nos subprodutos compostos bioativos, como carotenóides (luteína e zeaxantina), flavonóides (hesperetina, quercetina, genisteína e kaempferol) e ácidos fenólicos (Saini, Panesar & Bera, 2019). Esses compostos, quando inseridos, impactam positivamente na saúde, regulando as atividades metabólicas e celulares do corpo devido suas propriedades anti-inflamatórias, antioxidantes, antialérgicas, anticancerígenas, antidiabéticas e proteção cardiovascular (Saini, Panesar e Bera, 2019; Chaouch e Benvenuti, 2020). Muitos deles já foram identificados em diferentes subprodutos alimentares de frutas e vegetais (Tabela 2).

Tabela 2. Compostos bioativos encontrados em subprodutos de frutas e vegetais.

Subproduto	Compostos bioativos	Referências
Extratos da borra de café	Fenólicos	Inácio et al., 2022
Casca de kiwi	Fenólicos	Giordano, 2021
Bagaço de jabuticaba	Fenólicos, antocianinas e tocoferóis	Albuquerque et al., 2020
Bagaço de amora	Ácidos fenólicos, flavonóides e antocianinas	Santos et al., 2019
Caule e folhas de brócolis	Ácidos fenólicos e flavonóides	Ferreira et al., 2018
Bagaço de acerola	Fenólicos e carotenóides	Rezende, Nogueira & Naraim (2018)
Bagaço de azeitona	Fenólicos	Aliakbarian et al., (2018)
Casca de laranja	Fenólicos, carotenóides e flavonóides	Chen at al., 2017
Casca de batata	Ácidos fenólicos	Akyol et al., 2016
Casca de cenoura preta	Ácidos fenólicos e antocianinas	Kamiloglu et al., 2016
Casca e sementes de tomate	Carotenóides, ácidos fenólicos e flavonóides	Stajčić et al., 2015
Bagaço de carambola	Fenólicos	Saikia, Mahnot & Mahanta, 2015
Bagaços de abacaxi, goiaba, acerola, manga e mamão	Carotenóides, antocianinas e flavonóides	Da Silva et al., 2014
Folhas de aspargos	Fenólicos, flavonóides e saponinas	Fuentes-Alventosa et al., 2013
Casca de batata doce	Ácidos fenólicos e antocianinas	Kim et al., 2012

Fonte: Elaborada pelos autores.

Além dos benefícios à saúde que os compostos bioativos podem proporcionar, eles possuem diversas aplicações nos diferentes campos do processamento de alimentos. Podem ser utilizados como aditivos, promovendo a conservação, bem como a prevenção da oxidação e do crescimento de microrganismos patogênicos (Chaouch & Benvenuti, 2020). Bambeni et al. (2021) verificaram que a adição de extratos de semente e bagaço de uva e bagaço de tangerina foram eficazes na retardação da oxidação lipídica e deterioração microbiana em hambúrgueres bovinos. Ali et al. (2019) utilizaram extratos da folha de repolho e casca de banana para estabilidade oxidativa de lipídios em almôndegas de peixe, e obtiveram bons resultados.

A extração dos compostos bioativos pode ser realizada por tecnologias convencionais ou não convencionais, porém, as tecnologias não convencionais têm substituído os métodos convencionais, isso devido seu alto rendimento e fornecimento de produto com boa qualidade com tempo reduzido de processamento (Iqbal et al., 2021).

3.4 Potencial das tecnologias emergentes na extração de compostos bioativos de subprodutos de frutas e vegetais

A obtenção de compostos bioativos é influenciada por diversos fatores, como a metodologia de extração empregada, a natureza da matriz vegetal, tamanho das partículas, solvente utilizado, tempo e temperatura de extração. O processo convencional de extração consiste na utilização de solventes orgânicos, que apresentam alguns pontos negativos, como geração de resíduos orgânicos, transformação química dos extratos e alguns solventes podem ser prejudiciais ao meio ambiente (Andreo; Jorge, 2006; Vardanega; Santos; Meireles, 2014; Eliasson et al., 2003).

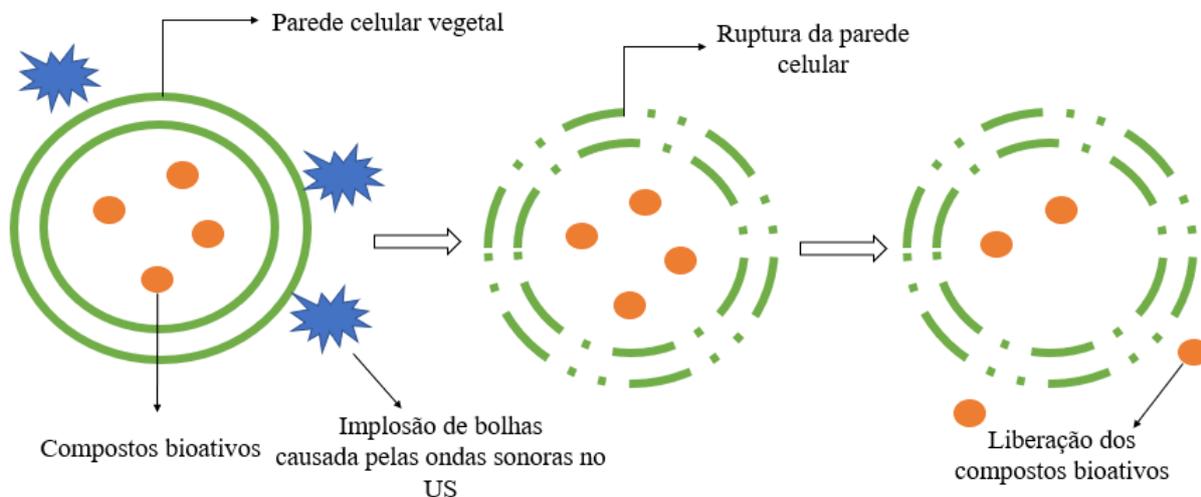
Nos últimos 50 anos, novas tecnologias de extração mais ecológicas foram desenvolvidas. Essas tecnologias utilizam menor quantidade de produtos químicos sintéticos e orgânicos, gastam um menor tempo operacional e fornecem melhor rendimento e qualidade do extrato quando comparadas com as tecnologias convencionais (Putnik et al., 2019). Essas tecnologias são chamadas de não convencionais ou tecnologias emergentes, e podem ser classificadas como tecnologias não térmicas (plasma frio, ultrassom, processamento por alta pressão, irradiação, campo elétrico pulsado e luz ultravioleta) e tecnologias térmicas (aquecimento ôhmico, aquecimento por micro-ondas e termossônica) (Ribeiro et al., 2022).

A utilização de tecnologias emergentes em diferentes matrizes alimentícias pode apresentar diversas vantagens, como manutenção de maiores concentrações de compostos bioativos, aumento das propriedades funcionais (geração de compostos antioxidantes, antidiabéticos e anti-hipertensivos) e aumento e diversificação do número e concentração de compostos voláteis (Galanakis, 2021). Buscando melhores resultados na eficiência do processo de extração, as tecnologias emergentes de ultrassom (US), campo elétrico pulsado (CEP), microondas (MO), líquido pressurizado (LP), fluido supercrítico (FS) e alta pressão hidrostática (APH) vêm sendo reportadas em diversos trabalhos para otimizar a extração de compostos bioativos.

3.4.1 Extração assistida por ultrassom

O ultrassom (US) é um tipo de ondas sonoras mecânicas de alto ruído com frequência além do limite da audição humana. Em geral, as frequências variam entre 20 e 100 MHz (Xu et al., 2021). Basicamente, o principal fenômeno produzido pelo ultrassom é a cavitação acústica, que é conhecida por gerar diversos efeitos na matriz vegetal, como a circulação do líquido (agitação do solvente utilizado) no sistema e a geração de turbulência que pode auxiliar no aumento da transferência de massa (Jadhav et al., 2009). Dessa forma, a extração assistida por ultrassom requer uma energia adicional de ultrassom para criar bolhas de cavitação que produzem efeitos mecânicos e térmicos nas células vegetais. Conseqüentemente, ocorre a quebra da parede celular e, com isso, os compostos bioativos são liberados e carregados através do solvente por difusão e/ou dissolução (Bi et al., 2019). Assim, compostos bioativos são extraídos de células vegetais na presença de gradiente de transferência de massa (Qian et al., 2020). O mecanismo de extração de compostos bioativos através da extração assistida por US é demonstrado na Figura 6.

Figura 6. Mecanismo de extração dos compostos bioativos a partir da extração assistida por US.



Fonte: Autores.

A extração assistida por ultrassom tem recebido atenção, pois se trata de uma metodologia de otimização do processo (Shirsath et al., 2012), possibilitando a obtenção de elevadas taxas de extração em tempos mais curtos (Khan et al, 2010). Além disso, a extração assistida por ultrassom demanda um menor uso de solvente, desencadeia maiores rendimentos de extração, além de minimizar a degradação de compostos termossensíveis, como os compostos bioativos (Fu et al., 2021). A Tabela 3 demonstra o potencial do US em extrair compostos bioativos de subprodutos agroindustriais provenientes de frutas e vegetal, através da apresentação de alguns trabalhos científicos realizados.

Tabela 3. Conteúdo e capacidade antioxidante de compostos bioativos advindos de subprodutos de frutas e vegetais.

Fruta/Matriz Vegetal	Subproduto agroindustrial	Solventes usados na extração	Parâmetros/variáveis de processo do US	Conteúdo de compostos bioativos	Capacidade antioxidante	Referências
Romã (<i>Punica granatum</i> L.)	Cascas	Óleo de girassol	20 kHz; 130 W; Temperatura de extração de 51,5 °C; 30 minutos; Nível de amplitude 58,8%	Carotenoides: 26,3 µg/g de casca	N / D	Goula et al., 2017
Jaboticaba (<i>Myrciaria cauliflora</i>)	Cascas	Solução etanólica	Frequência de 40 kHz, 48°C; 30 minutos de processo; Amplitude de potência de 40%	700,94 mg/100g de antocianinas totais	N / D	Feiden, 2020
Bocaiuva (<i>Acrocomia aculeata</i>)	Cascas	Solução etanólica 50% (v/v)	40 kHz; 25°C; 60 min de processo	Compostos fenólicos totais: 5,64 mg EAG.g ⁻¹	ABTS: 89,87 ± 2,37 mg TEAC.g ⁻¹ DPPH: 102,57 ± 2,10 mg TEAC.g ⁻¹	Gomes et al., 2021
Atemoia (<i>Annona x atemoya</i>)	Cascas e sementes	Solução etanólica 70% v/v	60°C; 1 hora	Compostos fenólicos totais no extrato da casca de Atemoia: 112,44 ± 0,79 mg EAG/g Extrato da semente de Atemoia: 118,80 ± 1,70 mg EAG/g	N / D	Castro et al., 2020
Raçá Vermelho (<i>Psidium cattleianum</i> Sabine)	Cascas	Etanol PA (Merck®) e metanol PA (Vetec®), ambos	Frequência de 40 KHz; Potência de 154 W e 90 minutos de processo	Usando solução etanólica 90% (v/v), houve um aumento de 12% nos níveis de	N / D	Meregalli et al., 2020

		acidificados por HCl PA (31–33%, Vetec®) em diferentes concentrações (30, 50, 70, 90 e 100%).		antocianinas (121,85 Eq. mg de cianidina-3-glicosídeo/100 g de casca)		
Romã (<i>Punica granatum</i>)	Cascas	Solução etanólica 70% v/v	20 kHz, 400 W; Amplitude de 70%; Ciclo de trabalho de 55,5%; Temperatura de extração de 40 °C; 30 min de processo	Flavonoides: 5,8 ± 0,04 mg quercetina/g Compostos fenólicos totais: 250 mg GAE/g de amostra;	DPPH: por esse método, a atividade antioxidante foi de 97,3% maior em comparação ao ácido ascórbico utilizado como padrão	Rashid et al., 2022
Lichia (<i>Litchi Chinensis Sonn.</i>)	Cascas	Mistura água:etanol em diferentes concentrações (v/v)	40 kHz; 132 W; Temperaturas de 40, 50 e 60 °C; 30 a 60 minutos	Compostos fenólicos totais: verificou-se que o processo assistido por ultrassom favoreceu a extração de compostos bioativos (p < 0,05) nas seguintes condições: 60 °C, solução com 70% de etanol, durante 30 minutos	Pelo método FRAP, aumento de 26% e 52%, chegando em valores de 9742,11 ± 173,61 µmol ET 100 g ⁻¹ Pelo método DPPH, houve aumento de 26%, resultando em valores de 0,008 ± 0,001 mg mL ⁻¹	Da Silva, Garcia & Franciscato, 2016
Pitaia (<i>Hyloteus undatus sp.</i>)	Cascas	Solução etanólica (80% v/v)	Frequência de 40 kHz; Temperatura de extração de 60°C; 1 hora de processo	Compostos fenólicos totais: 461,92 ± 0,12 mg EAG. g-1	N / D	Rodrigues et. al, 2020
Maracujá (<i>Passiflora edulis f. flavicarpa</i>)	Cascas	Os solventes utilizados foram: hexano, água, soluções de metanol/água e etanol/água, nas proporções de 80:20, 70:30, 60:40 e 50:50 (v/v)	Frequência de 40 kHz; Potência de 135 W; 10 minutos de processo	A proporção 60:40 (v/v) da solução etanólica revelou-se promissora, obtendo um teor de polifenóis totais de 466 mg/100g de farinha de casca de maracujá	N / D	Souza, 2015
Maçã (<i>Red deliciou</i>)	Bagaço	Solventes eutéticos profundos naturais (cloreto de colina: ácido láctico, por exemplo) em diferentes proporções	Intensidade acústica de 50 a 120 W/cm ² ; Ciclo de trabalho de 20 a 100%; Temperatura de extração de 20 a 70°C; Tempo de extração: 10 a 50 min;	O valor máximo de compostos fenólicos foi obtido usando o tempo de sonicação de 40 minutos, 40 °C, razão sólido/líquido 1:30, intensidade acústica de 83.2 W/cm ² e ciclo de trabalho de 75%, obtendo-se 1628 µg/g de quacertina	Os resultados mostraram uma maior atividade antioxidante dos compostos que receberam os tratamentos com o US em relação aos tratados pela extração convencional.	Rashid et al., 2022
Beterraba (<i>Beta vulgaris L.</i>)	Cascas	Água	83 W; Temperatura de extração de 30 °C; 30 minutos de processo	Os extratos tratados com US obtiveram concentrações maiores de betalainas	Alta atividade por ABTS, DPPH e FRAP.	Righi, Camila & Bolanho, 2018

N / D = Dados “não disponíveis”. Fonte: Autores.

3.4.2 Extração assistida por campo elétrico pulsado

O tratamento por campo elétrico pulsado (CEP) é normalmente realizado com circuitos simples que utilizam pulsos de decaimento exponencial. Os materiais vegetais são colocados no interior de uma câmara de tratamento com dois eletrodos para tratamento elétrico. A câmara de processamento é projetada de tal forma que há dois modos de controle do processo: contínuo ou em batelada (Puértolas et al., 2010). A eficácia do tratamento com CEP é variável e está diretamente ligada a alguns parâmetros do processo, como força do campo, entrada de energia específica, número de pulsos, temperatura de tratamento e os materiais que estão sendo tratados (Heinz et al., 2003).

A aplicação do CEP em processos de extração tem sido estudada devido à capacidade da eletroporação de aumentar a transferência de massa de componentes intracelulares da matriz vegetal (Zhang et al., 2019; Saldaña et al., 2021). Além disso, o tratamento com campo elétrico desestabiliza a bicamada lipídica das células, alterando sua permeabilidade e facilitando o contato entre o solvente e os componentes intracelulares de interesse. Assim, há um aumento no rendimento do processo de extração (Guerrero-Beltrán & Welte-Chanes, 2016).

Bertholdo et al. (2018) estudaram a extração de compostos bioativos do suco e do subproduto de processamento de arará vermelho (*Psidium cattleynum*) por campo elétrico pulsado. O sistema foi acionado com uma tensão alternada de 30 V em uma frequência de 60 Hz no lado de baixa tensão. As placas receberam pulsos de tensão de 6 kV de pico, gerando um campo elétrico pulsado 5kV/cm com ondas senoidais. Os tempos de aplicação variaram de 1 a 4 minutos, comparados ao controle (sem aplicação do campo elétrico). Por fim, os resultados demonstraram que as amostras tratadas com CEP obtiveram maiores valores de fenólicos totais. Resumidamente, o teor de fenólicos totais aumentou proporcionalmente com o tempo de processamento, obtendo-se $12,58 \pm 0,35$ mg GAE/mL, em 4 minutos.

Li et al. (2022) desenvolveram um estudo que teve como objetivo apresentar um método eficiente e ecologicamente correto baseado na extração assistida por CEP combinada com solventes eutéticos profundos para recuperar flavonóides de bagaço de noni (*Morinda citrifolia* L.). Os resultados indicaram que, após a otimização da metodologia de superfície de resposta, as maiores quantidades de extração de rutina e quercetina foram 16,21 mg/ge 19,85 mg/g, respectivamente. Durante o processo de extração, verificou-se que quase 100% da rutina degradada pode ser convertida em quercetina em Ch/Oxa. Nas mesmas condições de tratamento (tempo e temperatura), a eficiência de conversão de rutina do CEP foi 25,4 - 206,4 vezes maior do que a do tratamento com água quente. Uma excelente eficiência de conversão de rutina (8,72%/min) para CEP foi alcançada ajustando as principais condições de reação. No geral, o CEP combinado com os solventes eutéticos profundos é um método eficiente, seletivo e sustentável para recuperar flavonóides de resíduos de bagaço de noni.

Além de aumentar o rendimento do processo de extração, a tecnologia CEP promove alterações mínimas nas propriedades sensoriais e nutricionais dos produtos (Moreira et al., 2019), visto que o processo não requer calor, ocorrendo em baixas temperaturas, em torno de 30 a 40 °C. Dessa forma, o CEP contribui com a preservação dos compostos fitoquímicos termossensíveis nas matrizes vegetais (Redondo et al., 2018).

3.4.3 Extração assistida por fluido supercrítico

O gás/fluido quando submetido à pressão e temperatura acima do seu ponto crítico torna-se supercrítico. Nestas condições, suas propriedades físicas são alteradas e tem-se um gás com poder solvatante como de um líquido e a difusividade como de um gás. Em síntese, possui características gasosas e líquidas. Dessa forma, fluidos supercríticos podem ser utilizados como meio de processamento para uma ampla gama de processos químicos, biológicos e de extração. Para fins de extração, é uma técnica na qual um fluido supercrítico é introduzido em matrizes contendo componentes de interesse como meio de extração, e a extração é realizada com base nas diferenças de solubilidade (Al Khawli et al., 2019).

A extração por fluido supercrítico (EFS) pode ser considerada uma tecnologia verde por possibilitar extratos isentos

de solventes (Moraes et al., 2015), sendo o CO₂ o solvente mais utilizado para a extração de compostos bioativos de matrizes naturais. Existem mais de 150 plantas EFS em todo o mundo, totalizando um volume total de extração de vasos superior a 500 L, sendo que a maioria dessas plantas são utilizadas para extração de produtos naturais (King et al., 2015). Essa técnica apresenta vantagens em relação às extrações tradicionais, como não tóxica (não utiliza solventes orgânicos), não inflamável, ocorre em condições de trabalho mais amenas, há baixo consumo de energia, fácil descarte de fluidos ou reutilização e extração de compostos termolábeis (Melo et al., 2014; Herrero et al., 2015).

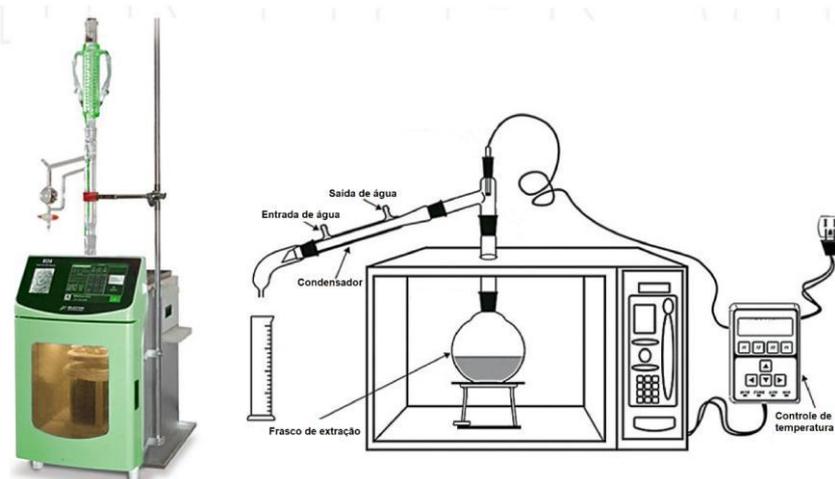
Em um estudo desenvolvido por Goyeneche et al. (2018) aconteceu a extração de compostos bioativos de folhas de rabanete por meio da extração usando EFS-CO₂, onde os maiores rendimentos de extração de compostos fenólicos totais e flavonóides totais ocorreram nas condições ótimas de processamento, definidas em 40 °C e 400 bar. Nestas mesmas condições, observou-se uma maior capacidade antioxidante.

Em um outro estudo desenvolvido por Santos (2012) realizou-se a extração com dióxido de carbono supercrítico (SC-CO₂) e estudou-se a composição de extratos de sementes de Pitanga (*Eugenia uniflora* L.). Neste trabalho, as sementes foram colocadas em contato com SC-CO₂ em diferentes condições de pressão e temperatura. Na análise de superfície de resposta, constatou-se que os melhores rendimentos foram obtidos a altas pressões, indicando que baixas temperaturas podem ser usadas para não degradar as substâncias termolábeis. Em relação à concentração de compostos fenólicos totais, os resultados mostraram que houve uma variação entre 17,95 e 73,89 ppm em ácido gálico equivalente (GAE) nos extratos, sendo que a pressão e temperatura, no intervalo estudado, não influenciaram significativamente ($p < 0,05$). Além disso, também foi detectada a presença de terpenos com atividade antioxidante.

3.4.4 Extração assistida por micro-ondas

O microondas tem sido usado para extrair compostos bioativos de uma variedade de fontes, incluindo fontes vegetais. É um dos métodos alternativos de extração mais empregados, isso devido ao menor tempo de extração e consumo de solvente (Rodsamran e Sothornvit, 2019; Veggi et al., 2012). A Figura 7 esquematiza a representação de um equipamento de extração assistida por micro-ondas usado em escala laboratorial.

Figura 7. Representação esquemática de um equipamento de extração assistida por micro-ondas usado em escala laboratorial.



Fonte: Adaptada de Castro-López et al. (2016).

Microondas são ondas eletromagnéticas com frequências que variam de 300 MHz a 300 GHz. Seu princípio de funcionamento consiste na utilização de radiações eletromagnéticas não ionizantes que geram campo elétrico iniciando a

condução iônica. A rotação de dipolo é criada, forçando as moléculas a se alinharem ao campo elétrico e levando ao aquecimento do material. Devido ao aquecimento, a água é evaporada e uma pressão é criada dentro da célula vegetal, ocasionando a ruptura das paredes celulares e consequentemente facilitando a liberação de compostos bioativos. O rendimento da extração depende da potência de microondas, tempo e teor inicial de água da matriz alimentar (Zhi et al., 2017; Maric et al., 2018; Vinatoru et al., 2017).

Silva et al (2019) avaliou duas técnicas de obtenção de compostos antioxidantes e concentrados fibrosos a partir do subproduto da goiaba. O material foi submetido a extração assistida por microondas (50 W) e a extração convencional (em mesa giratória a 100 rpm), sendo ambos os tratamentos realizados por 30 min a temperatura ambiente. Foi analisado o teor de compostos fenólicos e antioxidantes, e os subprodutos fibrosos quanto a composição e propriedades funcionais. A extração assistida por microondas mostrou ser uma técnica promissora devido ao maior teor de compostos fenólicos e potencial antioxidante em seu extrato, e o subproduto apresentou maior teor de fibras e melhores resultados para as propriedades funcionais do que o tratamento convencional.

Nayak et al. (2015) avaliaram a extração de compostos bioativos em cascas de *Citrus sinensis* por micro-ondas. Neste estudo, foram estudados: concentração de solvente (51% de acetona v/v), potência de micro-ondas (500 W), tempo de extração (122 s) e relação sólido/solvente (25 mL g⁻¹) sob a concentração de fenólicos totais, atividade antioxidante total e ácidos fenólicos individuais, usando a metodologia de superfície de resposta. Os autores compararam os resultados com extratos obtidos por ultrassom e extração acelerada com solvente. Os resultados obtidos com extratos de micro-ondas para atividade antioxidante e fenólica total foram superiores aos obtidos por outros métodos de extração.

3.4.5 Extração assistida por líquido pressurizado

A extração com líquido pressurizado foi descrita pela primeira vez em 1996, e possui outras denominações: extração aprimorada por solvente, extração acelerada por fluido ou extração por solvente de alta pressão. Essa técnica consiste na aplicação de uma alta pressão e temperatura, sendo que a alta pressão mantém o solvente em estado líquido quando a temperatura for superior à sua temperatura normal de evaporação, uma vez que em altas temperaturas à pressão atmosférica o solvente estaria no estado vapor. Essa técnica tem como vantagem não degradar compostos termicamente sensíveis, visto que, o tempo de extração é considerado rápido quando comparado com métodos convencionais (Richter et al., 1996).

A determinação de quais compostos são desejáveis no extrato é importante para escolher os melhores parâmetros, visto que o rendimento é afetado pela temperatura. As altas temperaturas favorecem a obtenção de ácido gálico, por outro lado, degradam antocianinas termolábeis, sendo estas mais favorecidas a temperaturas abaixo de 110 °C. Temperaturas muito baixas não favorecem um bom rendimento na extração de compostos antioxidantes e a degradação de diterpenos começa a partir da temperatura de 60°C (Monrad et al., 2010; Yammine et al., 2018; De Oliveira et al., 2018; Belandria et al., 2016).

No processo, quando o solvente escolhido é somente água, essa operação passa a ser conhecida como extração de água quente pressurizada ou extração de água subcrítica. Essa condição de processamento permite a redução do consumo de solventes orgânicos, tempo de extração rápido, é ecologicamente correto devido à natureza da água não tóxica, reciclável e prontamente disponível. À temperatura ambiente, a água tem uma constante dielétrica próxima de 80, mas esta cai para a região de 30 na temperatura de 250 °C, tornando-se comparável ao metanol e promovendo a solubilidade de compostos menos polares. Por esse motivo, pode ser usado para extrair compostos polares e não polares, ou seja, carotenóides, curcuminóides, lipídios e óleos essenciais (Pagano et al., 2021).

Viganó et al., (2022) realizaram extração de compostos fenólicos do subproduto de açaí (*Euterpe oleracea*) por extração líquida pressurizada, utilizando água e etanol como solvente. Avaliaram as temperaturas de 65, 90 e 115 °C, a porcentagens de etanol (0, 25, 50, 75 e 99,5%) a pressão foi mantida constante em $10 \pm 0,5$ MPa e o tempo de processo foi de

60 minutos. Constataram que a temperatura e a composição do solvente afetaram os rendimentos de extração e a capacidade antioxidante. A condição de extração ótima entre os testados, foi de 115 °C e 75% em peso de etanol como solvente.

3.4.6 Extração assistida por alta pressão hidrostática

A pressão é um parâmetro físico que afeta o estado dos sistemas físicos, químicos e biológicos, levando a alteração da estrutura química de algumas moléculas de alimentos, e conseqüentemente influenciando na velocidade das reações químicas e enzimáticas (Serment-Moreno et al., 2017). O processamento de alta pressão hidrostática é uma tecnologia não térmica, emergente e promissora, cujo uso tem aumentado significativamente no processamento de alimentos desde o início do século XXI. É uma operação unitária que utiliza pressões que variam de 100 a 1000MPa e temperaturas em torno de -20 a 60°C por alguns segundos ou minutos. Como meio de transferência de pressão, normalmente é usado água (Morata et al., 2021; Ozkan, Guldiken e Capanoglu, 2019; Hernández-Hernández, Moreno-Vilet, Villanueva-Rodríguez, 2019).

Os alimentos mais indicados para serem processados por alta pressão são os com maior teor de água, como frutas e vegetais, frutos do mar e mariscos, laticínios, sucos e bebidas e refeições prontas a base de carne. Esse processamento não é adequado para alimentos de baixa acidez, pois requerem altas pressões de 800-1700 MPa para inativar os esporos bacterianos (Aganovic et al., 2021). Os princípios isostáticos e de Le Chatelier auxiliam na extração de compostos bioativos em pressões que variam de 200 a 600 MPa (Zhang e Li, 2010).

Um dos benefícios da APH é a conservação das propriedades originais dos alimentos processados, sendo um processo rápido e que mantém uma distribuição uniforme quase que imediata em toda amostra. Outra vantagem dessa técnica é a possibilidade de combinar diferentes solventes com polaridade distinta a fim de permitir a extração de vários compostos bioativos (Shouqin et al., 2004). O meio de transmissão da pressão pode ser a água ou mistura de óleo ou álcool, e a temperatura aumenta durante a pressurização por até 2-3°C por 100 MPa para a água, podendo alcançar 8°C em alimentos com alto teor de gordura (Voigt et al., 2015).

Nos últimos anos, o processamento por alta pressão tem sido estudado com relação aos efeitos em compostos bioativos. Barba et al. (2013) verificaram compostos e propriedades funcionais, como capacidade antioxidante, antocianinas poliméricas, compostos fenólicos totais e ácido ascórbico em sucos de mirtilo tratados a 0, 200, 400 e 600 MPa por 5, 9 e 15 minutos, e concluíram que todas o conteúdo de ácido ascórbico, fenólicos totais, antocianinas totais e capacidade antioxidante foram iguais ou superiores nos sucos pressurizados.

Grassino et al., (2020) analisaram a aplicação de alta pressão hidrostática e ultrassom para melhorar a recuperação de pectina e polifenóis de casca de tomate. Constataram que a APH foi capaz de aumentar a recuperação da pectina de 14 a 15% após 30 e 45 minutos de extração, em comparação com a extração convencional por 180 minutos.

3.4.7 Outras tecnologias emergentes para extração de compostos bioativos

Várias outras tecnologias, incluindo a extração assistida por enzimas, extração de água subcrítica, extração hidroalcolica, extração de homogeneização de alta velocidade e extração por descarga elétrica de alta pressão também já foram exploradas para extrair compostos bioativos. Essas tecnologias podem ser usadas isoladamente como as mencionadas anteriormente ou pode-se realizar a combinação dessas técnicas.

A integração de técnicas de extração é atraente para criar produtos de maior qualidade a partir da mesma matriz. Dessa forma, a combinação de tecnologias torna-se valiosa, pois fornece acesso a compostos bioativos adicionais encontrados na natureza (Osório-Tobón, 2020).

A combinação de enzimas com diferentes técnicas de extração demonstrou ser versátil para recuperar biocompostos de matrizes vegetais e subprodutos. Macedo et al. (2021) analisaram o potencial da extração assistida por enzimas e micro-

ondas combinadas para extração de compostos fenólicos de bagaço de azeitona. Os autores enfatizaram que a extração enzimática integrada por micro-ondas alcança maiores rendimentos quando comparada com as técnicas convencionais.

Em um outro estudo realizado por Wu et al. (2001), o qual utilizou a abordagem de extração assistida por enzima-ultrassom-micro-ondas para extrair componentes antioxidantes de subprodutos do suco de *Nitraria tangutorum*. Neste estudo, em um primeiro momento, os materiais foram tratados com enzimas e, em seguida, a extração assistida por micro-ondas/ultrassom foi realizada simultaneamente. Os autores preparam o extrato em etanol e o submeteram as seguintes condições de processo: US apresentando potência de 200 a 1.200 W e potência de micro-ondas de 100 a 600 W, com tempo de processo variando de 10 a 60 minutos e temperatura na faixa de 50 a 90 °C. Sob as condições ideais selecionadas, a composição fitoquímica do extrato revelou maiores teores de fenóis totais, flavonóides totais e antocianinas totais. Além disso, também mostrou que a combinação dos métodos tem potencial para ser uma estratégia forte e eficiente para a extração de compostos bioativos.

4. Considerações Finais

Muitas pesquisas têm sido dedicadas à exploração de tecnologias não convencionais para extração de compostos bioativos de diversas matrizes alimentares. Conforme elucidado neste trabalho, essas tecnologias podem ser eficientes para promover um rendimento de extração em tempos menores, bem como ser uma estratégia para a diminuição de impactos ambientais desfavoráveis. Dessa forma, a extração de compostos bioativos em matrizes de subprodutos de frutas e vegetais foi revisada, enfatizando as vantagens dos métodos de extração emergentes em relação aos convencionais/tradicionais e apresentando orientações tecnológicas sobre os parâmetros e variáveis de processo.

Ademais, considera-se que os resultados são de grande relevância para a comunidade científica, como também, apontam que ainda existe lacuna no conhecimento técnico-científico para melhor compreensão e desenvolvimento dessas tecnologias. Portanto, o preenchimento dessa lacuna é um passo fundamental para a produção desses processos em escala industrial, sendo uma estratégia para diminuir impactos ambientais, contribuindo para o desenvolvimento sustentável de indústrias alimentícias e farmacêuticas.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Viçosa (Departamento de Tecnologia de Alimentos), ao Instituto de Laticínios Cândido Tostes – EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais). Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade a B.R.C. Leite Júnior (n°306514/2020-6), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES -Código de Financiamento 001) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG -APQ-00388-2).

Referências

- Aganovic, K., Hertel, C., Vogel, R. F., Johne, R., Schlüter, O., Schwarzenbolz, U., & Heinz, V. (2021). Aspects of high hydrostatic pressure food processing: Perspectives on technology and food safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(4), 3225-3266.
- Akyol, H., Riciputi, Y., Capanoglu, E., Caboni, M. F., & Verardo, V. (2016). Phenolic compounds in the potato and its byproducts: an overview. *International journal of molecular sciences*, 17(6), 835.
- Al Khawli, F., Pateiro, M., Domínguez, R., Lorenzo, J. M., Gullón, P., Kousoulaki, K., ... & Barba, F. J. (2019). Innovative green technologies of intensification for valorization of seafood and their by-products. *Marine Drugs*, 17(12), 689.
- Albuquerque, B. R., Pereira, C., Calhelha, R. C., Alves, M. J., Abreu, R. M., Barros, L. & Ferreira, I. C. (2020). Jabuticaba residues (*Myrciaria jaboticaba* (Vell.) Berg) are rich sources of valuable compounds with bioactive properties. *Food chemistry*, 309, 125735.
- Algandaby, M. M. (2018). Antifibrotic effects of crocin on thioacetamide-induced liver fibrosis in mice. *Saudi journal of biological sciences*, 25(4), 747-754.

- Ali, M., Imran, M., Nadeem, M., Khan, M. K., Sohaib, M., Suleria, H. A. R., & Bashir, R. (2019). Oxidative stability and Sensoric acceptability of functional fish meat product supplemented with plant-based polyphenolic optimal extracts. *Lipids in health and disease*, 18(1), 1-16.
- Aliakbarian, B., Sampaio, F. C., de Faria, J. T., Pitangui, C. G., Lovaglio, F., Casazza, A. A. & Perego, P. (2018). Optimization of spray drying microencapsulation of olive pomace polyphenols using response surface methodology and artificial neural network. *Lwt*, 93, 220-228.
- Andreo, D., & Jorge, N. (2006). Antioxidantes naturais: técnicas de extração. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 24(2), 319-336.
- Arina, M. I., & Harisun, Y. (2019). Effect of extraction temperatures on tannin content and antioxidant activity of *Quercus infectoria* (Manjakani). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 19, 101104.
- Arús, B. A., Souza, D. G., Bellaver, B., Souza, D. O., Goncalves, C. A., Quincozes-Santos, A., & Bobermin, L. D. (2017). Resveratrol modulates GSH system in C6 astroglial cells through heme oxygenase 1 pathway. *Molecular and cellular biochemistry*, 428(1), 67-77.
- Awasthi, M. K., Paul, A., Kumar, V., Sar, T., Kumar, D., Sarsaiya, S., ... & Taherzadeh, M. J. (2022). Recent trends and developments on integrated biochemical conversion process for valorization of dairy waste to value added bioproducts: A review. *Bioresource Technology*, 344, 126193.
- Bambeni, T., Tayengwa, T., Chikwanha, O. C., Manley, M., Gouws, P. A., Marais, J., ... & Mapiye, C. (2021). Biopreservative efficacy of grape (*Vitis vinifera*) and clementine mandarin orange (*Citrus reticulata*) by-product extracts in raw ground beef patties. *Meat Science*, 181, 108609.
- Barba, F. J., Esteve, M. J., & Frigola, A. (2013). Physicochemical and nutritional characteristics of blueberry juice after high pressure processing. *Food Research International*, 50(2), 545-549.
- Barreira, T. F., Paula, G. X. D., Pinheiro, S. S., Cardoso, L. D. M., Santos, R. H. S., & Pinheiro-Sant'ana, H. M. (2019). Chemical characterization and bioactive compounds of an unconventional vegetable-Erechtites valerianifolia (Wolf) DC. *Food Science and Technology*, 39, 546-551.
- Belandria, V., de Oliveira, P. M. A., Chartier, A., Rabi, J. A., de Oliveira, A. L., & Bostyn, S. (2016). Pressurized-fluid extraction of cafestol and kahweol diterpenes from green coffee. *Innovative food science & emerging technologies*, 37, 145-152.
- Bertholdo, D. T., Stoffel, F., Piemolini-Berreto, L. T. (2018). Extração de compostos bioativos do suco e do resíduo de processamento de Araçá Vermelho (*Psidium Cattleynnaum*) por campo elétrico pulsado. 6º Simpósio de Segurança Alimentar, Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Bi, Y., Lu, Y., Yu, H., & Luo, L. (2019). Optimization of ultrasonic-assisted extraction of bioactive compounds from *Sargassum henslowianum* using response surface methodology. *Pharmacognosy Magazine*, 15(60), 156.
- Bramont, W. B., Leal, I. L., Umsza-Guez, M. A., Guedes, A. S., Alves, S. C. O., Reis, J. H. O. & Machado, B. A. S. (2018). Comparação da composição centesimal, mineral e fitoquímica de polpas e cascas de dez diferentes frutas. *Rev. Virtual Quím*, 10(4).
- Cádiz-Gurrea, L. M., del Carmen Villegas-Aguilar, M., Leyva-Jiménez, F. J., Pimentel-Moral, S., Fernández-Ochoa, Á., Alañón, M. E., & Segura-Carretero, A. (2020). Revalorization of bioactive compounds from tropical fruit by-products and industrial applications by means of sustainable approaches. *Food research international*, 138, 109786.
- Carratu, E., & Sanzini, E. (2005). Sostanze biologicamente attive presenti negli alimenti di origine vegetale. *Ann. Ist. Super Sanità*, 41 (1), 7-16.
- Casquete, R., Castro, S. M., Martín, A., Ruiz-Moyano, S., Saraiva, J. A., Córdoba, M. G., & Teixeira, P. (2015). Evaluation of the effect of high pressure on total phenolic content, antioxidant and antimicrobial activity of citrus peels. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 31, 37-44.
- Castro, T. L., Rodrigues, P. L. G., Bastos, C. P., Victoria, F. N. (2020). Extração assistida por ultrassom de compostos bioativos da casca e da semente de Atemoia (*Annona x atemoya*). Anais do XXIX Congresso de Iniciação Científica, Universidade Federal de Pelotas.
- Castro-López, C., Rojas, R., Sánchez-Alejo, E. J., Niño-Medina, G., & Martínez-Ávila, G. C. (2016). Phenolic compounds recovery from grape fruit and by-products: An overview of extraction methods. *Grape and wine biotechnology*, 5, 104-123.
- Cattaneo, A., Federighi, G., & Vaz, S. (2021). The environmental impact of reducing food loss and waste: A critical assessment. *Food Policy*, 98, 101890.
- Chantaro, P., Devahastin, S., & Chiewchan, N. (2008). Production of antioxidant high dietary fiber powder from carrot peels. *LWT-Food Science and Technology*, 41(10), 1987-1994.
- Chaouch, M. A., Benvenuti, S. (2020) The role of fruit by-products as bioactive compounds for intestinal health. *Foods*, 9 (11), 1716, 2020.
- Chen, X. M., Tait, A. R., & Kitts, D. D. (2017). Flavonoid composition of orange peel and its association with antioxidant and anti-inflammatory activities. *Food chemistry*, 218, 15-21.
- Choe, C., Cheon, S., Gu, J., & Lim, H. (2022). Critical aspect of renewable syngas production for power-to-fuel via solid oxide electrolysis: Integrative assessment for potential renewable energy source. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161, 112398.
- Coman, V., Teleky, B. E., Mitrea, L., Martău, G. A., Szabo, K., Călinoiu, L. F., & Vodnar, D. C. (2020). Bioactive potential of fruit and vegetable wastes. *Advances in food and nutrition research*, 91, 157-225.
- Corrales, M., Toepfl, S., Butz, P., Knorr, D., & Tauscher, B. (2008). Extraction of anthocyanins from grape by-products assisted by ultrasonics, high hydrostatic pressure or pulsed electric fields: A comparison. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(1), 85-91.
- Courtois, A., Jourdes, M., Dupin, A., Lapèze, C., Renouf, E., Biais, B., ... & Krisa, S. (2017). In vitro glucuronidation and sulfation of ϵ -viniferin, a resveratrol dimer, in humans and rats. *Molecules*, 22(5), 733.
- Cui, J., Duan, X., Ke, L., Pan, X., Liu, J., Song, X., & Fan, Y. (2021). Extraction, purification, structural character and biological properties of propolis flavonoids: A review. *Fitoterapia*, 157, 105106.

- da Silva, C., Garcia, V. S., & Franciscato, L. S. (2016). Extração assistida por ultrassom de compostos bioativos das cascas de lichia (*Litchi chinensis* Sonn.). *RECEN-Revista Ciências Exatas e Naturais*, 18(1), 81-96.
- Da Silva, L. M. R., De Figueiredo, E. A. T., Ricardo, N. M. P. S., Vieira, I. G. P., De Figueiredo, R. W., Brasil, I. M., & Gomes, C. L. (2014). Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. *Food chemistry*, 143, 398-404.
- Das, M., Devi, L. M., & Badwaik, L. S. (2022). Ultrasound-assisted extraction of pumpkin seeds protein and its physicochemical and functional characterization. *Applied Food Research*, 100121.
- de los Ángeles Fernández, M., Espino, M., Gomez, F. J., & Silva, M. F. (2018). Novel approaches mediated by tailor-made green solvents for the extraction of phenolic compounds from agro-food industrial by-products. *Food Chemistry*, 239, 671-678.
- De Melo, M. M. R., Silvestre, A. J. D., & Silva, C. M. (2014). Supercritical fluid extraction of vegetable matrices: Applications, trends and future perspectives of a convincing green technology. *The Journal of Supercritical Fluids*, 92, 115-176.
- de Oliveira Costa, F. H., de Moraes, C. C., da Silva, A. L., Delai, I., Chaudhuri, A., & Pereira, C. R. (2022). Does resilience reduce food waste? Analysis of Brazilian supplier-retailer dyad. *Journal of Cleaner Production*, 338, 130488.
- de Oliveira, N. A., Cornelio-Santiago, H. P., Fukumasu, H., & de Oliveira, A. L. (2018). Green coffee extracts rich in diterpenes—Process optimization of pressurized liquid extraction using ethanol as solvent. *Journal of Food Engineering*, 224, 148-155.
- de Oliveira, W. Q., Neri-Numa, I. A., Arruda, H. S., Lopes, A. T., Pelissari, F. M., Barros, F. F. C., & Pastore, G. M. (2021). Special emphasis on the therapeutic potential of microparticles with antidiabetic effect: Trends and possible applications. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 442-462.
- Dentinho, M. T. P., Paulos, K., Francisco, A., Belo, A. T., Jerónimo, E., Almeida, J., ... & Santos-Silva, J. (2020). Effect of soybean meal treatment with *Cistus ladanifer* condensed tannins in growth performance, carcass and meat quality of lambs. *Livestock Science*, 236, 104021.
- Duraisamy, R., Shuge, T., Worku, B., Bereket, A. K., & Ramasamy, K. M. (2020). Extraction, screening and spectral characterization of tannins from acacia xanthophloea (Fever Tree) Bark. *Research Journal of Textile and Leather*, 1 (1), 1-10, 1.
- Eliasson, C., Kamal-Eldin, A., Andersson, R., & Åman, P. (2003). High-performance liquid chromatographic analysis of secoisolariciresinol diglucoside and hydroxycinnamic acid glucosides in flaxseed by alkaline extraction. *Journal of chromatography A*, 1012(2), 151-159.
- El-Sawi, S. A., Ibrahim, M. E., Sleem, A. A., Farghaly, A. A., Awad, G. E., & Merghany, R. M. (2022). Development of alternative medicinal sources from golden berry, bananas and carrot wastes as antioxidant, cytotoxic and antimicrobial agents. *Acta Ecologica Sinica*, 42(3), 224-232.
- Feiden, T. (2020) Extração assistida por ultrassom de antocianinas da casca de Jabuticaba (*Myrciaria Cauliflora*). Trabalho de conclusão de curso, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Erechim.
- Ferreira, S. S., Passos, C. P., Cardoso, S. M., Wessel, D. F., & Coimbra, M. A. (2018). Microwave assisted dehydration of broccoli by-products and simultaneous extraction of bioactive compounds. *Food Chemistry*, 246, 386-393.
- Florencia, V., López, O. V., & García, M. A. (2020). Exploitation of by-products from cassava and ahipa starch extraction as filler of thermoplastic corn starch. *Composites Part B: Engineering*, 182, 107653.
- Fu, X., Wang, D., Belwal, T., Xie, J., Xu, Y., Li, L., ... & Luo, Z. (2021). Natural deep eutectic solvent enhanced pulse-ultrasonication assisted extraction as a multi-stability protective and efficient green strategy to extract anthocyanin from blueberry pomace. *Lwt*, 144, 111220.
- Fuentes-Alventosa, J. M., Jaramillo-Carmona, S., Rodríguez-Gutiérrez, G., Guillén-Bejarano, R., Jiménez-Araujo, A., Fernández-Bolaños, J., & Rodríguez-Arcos, R. (2013). Preparation of bioactive extracts from asparagus by-product. *Food and Bioprocess Technology*, 91(2), 74-82.
- Galanakis, C. M. (2021). Functionality of food components and emerging technologies. *Foods*, 10(1), 128.
- Gentile, D., Fornai, M., Pellegrini, C., Colucci, R., Blandizzi, C., & Antonioli, L. (2018). Dietary flavonoids as a potential intervention to improve redox balance in obesity and related co-morbidities: a review. *Nutrition Research Reviews*, 31(2), 239-247.
- Giannaccare, G., Pellegrini, M., Senni, C., Bernabei, F., Scordia, V., & Cicero, A. F. G. (2020). Clinical applications of astaxanthin in the treatment of ocular diseases: Emerging insights. *Marine drugs*, 18(5), 239.
- Giordano, M. A. (2021) Extração de compostos químicos e bioativos de bio-resíduos de casca de kiwi usando a técnica de extração assistida por ultrassom. Tese de Doutorado, Universidade Tecnológica Nacional de Córdoba.
- Gomes, B. M., Santos, L. G., Silva, G. F., Martins, V. G. (2021). Extração assistida por ultrassom de compostos fenólicos da casca de Bocaiuva (*Acrocomia Aculeata*). *Revista Brasileira de Agrotecnologia*, 11 (2),995-999.
- González, M.P.E., Montoya, V.H. (2007). Characterization of mango pit as raw material in the preparation of activated carbon for wastewater treatment. *Biochemical Engineering Journal*, 36, 230-238.
- Górnaś, P., Rudzinska, M., Raczky, M., Misina, I., Soliven, A., Lācis, G., & Seglina, D. (2016). Impact of species and variety on concentrations of minor lipophilic bioactive compounds in oils recovered from plum kernels. *Journal of agricultural and food chemistry*, 64(4), 898-905.
- Goula, A. M., Ververi, M., Adamopoulou, A., & Kaderides, K. (2017). Green ultrasound-assisted extraction of carotenoids from pomegranate wastes using vegetable oils. *Ultrasonics sonochemistry*, 34, 821-830.
- Goyeneche, R., Fanovich, A., Rodrigues, C. R., Nicolao, M. C., & Di Scala, K. (2018). Supercritical CO₂ extraction of bioactive compounds from radish leaves: Yield, antioxidant capacity and cytotoxicity. *The Journal of Supercritical Fluids*, 135, 78-83.

- Grassino, A. N., Ostojčić, J., Miletić, V., Djaković, S., Bosiljkov, T., Zorić, Z., & Brnčić, M. (2020). Application of high hydrostatic pressure and ultrasound-assisted extractions as a novel approach for pectin and polyphenols recovery from tomato peel waste. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 64, 102424.
- Guandalini, B. B. V., Rodrigues, N. P., & Marczak, L. D. F. (2019). Sequential extraction of phenolics and pectin from mango peel assisted by ultrasound. *Food Research International*, 119, 455-461.
- Guerrero-Beltran, J. A., & Welti-Chanes, J. (2016). Pulsed electric fields. *Encyclopedia of Food and Health*. Academic Press, 561-565.
- Guyen, H., Arici, A., Simsek, O. (2019). Flavonoids in our foods: A short review. *Journal of Basic and Clinical Health Sciences*, 3, 96-106.
- Heinz, V., Toepfl, S., & Knorr, D. (2003). Impact of temperature on lethality and energy efficiency of apple juice pasteurization by pulsed electric fields treatment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 4(2), 167-175.
- Heleno, S. A., Martins, A., Queiroz, M. J. R., & Ferreira, I. C. (2015). Bioactivity of phenolic acids: Metabolites versus parent compounds: A review. *Food chemistry*, 173, 501-513.
- Hernández-Hernández, H. M., Moreno-Vilet, L., & Villanueva-Rodríguez, S. J. (2019). Current status of emerging food processing technologies in Latin America: Novel non-thermal processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 58, 102233.
- Herrero, M., del Pilar Sánchez-Camargo, A., Cifuentes, A., & Ibáñez, E. (2015). Plants, seaweeds, microalgae and food by-products as natural sources of functional ingredients obtained using pressurized liquid extraction and supercritical fluid extraction. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 71, 26-38.
- Hiranvarachat, B., & Devahastin, S. (2014). Enhancement of microwave-assisted extraction via intermittent radiation: Extraction of carotenoids from carrot peels. *Journal of Food Engineering*, 126, 17-26.
- Hromadkova, Z., Kováčiková, J., & Ebringerová, A. (1999). Study of the classical and ultrasound-assisted extraction of the corn cob xylan. *Industrial Crops and Products*, 9(2), 101-109.
- INÁCIO, Heloisa Patrício et al. (2022). Efeito de diferentes métodos de extração sobre o perfil fenólico e potencial bioativo de resíduos obtidos do processamento do café (*Coffea arabica* L.). Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Iqbal, A., Schulz, P., & Rizvi, S. S. (2021). Valorization of bioactive compounds in fruit pomace from agro-fruit industries: Present Insights and future challenges. *Food Bioscience*, 44, 101384.
- Jadhav, D., Rekha, B. N., Gogate, P. R., & Rathod, V. K. (2009). Extraction of vanillin from vanilla pods: A comparison study of conventional soxhlet and ultrasound assisted extraction. *Journal of food engineering*, 93(4), 421-426.
- Kabir, F., Tow, W. W., Hamazu, Y., Katayama, S., Tanaka, S., & Nakamura, S. (2015). Antioxidant and cytoprotective activities of extracts prepared from fruit and vegetable wastes and by-products. *Food chemistry*, 167, 358-362.
- Kamiloglu, S., Capanoglu, E., Bilen, F. D., Gonzales, G. B., Grootaert, C., Van de Wiele, T., & Van Camp, J. (2016). Bioaccessibility of polyphenols from plant-processing byproducts of black carrot (*Daucus carota* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(12), 2450-2458.
- Kemppainen, K., Siika-aho, M., Pattathil, S., Giovando, S., & Kruus, K. (2014). Spruce bark as an industrial source of condensed tannins and non-cellulosic sugars. *Industrial Crops and Products*, 52, 158-168.
- Khan, M. K., Abert-Vian, M., Fabiano-Tixier, A. S., Dangles, O., & Chemat, F. (2010). Ultrasound-assisted extraction of polyphenols (flavanone glycosides) from orange (*Citrus sinensis* L.) peel. *Food chemistry*, 119(2), 851-858.
- Khan, Z. A., Iqbal, A., & Shahzad, S. A. (2017). Synthetic approaches toward stilbenes and their related structures. *Molecular Diversity*, 21(2), 483-509.
- Khanbabaee, K., & Van Ree, T. (2001). Tannins: classification and definition. *Natural product reports*, 18(6), 641-649.
- Khoddami, A., Wilkes, M. A., & Roberts, T. H. (2013). Techniques for analysis of plant phenolic compounds. *Molecules*, 18(2), 2328-2375.
- Kim, H. W., Kim, J. B., Cho, S. M., Chung, M. N., Lee, Y. M., Chu, S. M. & Lee, D. J. (2012). Anthocyanin changes in the Korean purple-fleshed sweet potato, Shinzami, as affected by steaming and baking. *Food chemistry*, 130(4), 966-972.
- King, J. W. (2014). Modern supercritical fluid technology for food applications. *Annual review of food science and technology*, 5, 215-238.
- Kumar, N. & Goel, N. Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. (2019). *Biotechnology Reports*, 24, e00370.
- Lai, J. C. H., Mahesan, D., & Bains, R. (2022). Characterization and optimization of extracted pectin from unripe banana and mango fruit peels. *Materials Today: Proceedings*.
- Lanjekar, K. J., Gokhale, S., & Rathod, V. K. (2022). Utilization of waste mango peels for extraction of polyphenolic antioxidants by ultrasound-assisted natural deep eutectic solvent. *Bioresource Technology Reports*, 18, 101074.
- Li, J., Chen, W., Niu, D., Wang, R., Xu, F. Y., Chen, B. R., & Zeng, X. A. (2022). Efficient and green strategy based on pulsed electric field coupled with deep eutectic solvents for recovering flavonoids and preparing flavonoid aglycones from noni-processing wastes. *Journal of Cleaner Production*, 368, 133019.
- Lombardelli, C., Benucci, I., & Esti, M. (2021). Novel food colorants from tomatoes: Stability of carotenoid-containing chromoplasts under different storage conditions. *LWT*, 140, 110725.

- Louis, A. C. F., & Venkatachalam, S. (2020). Energy efficient process for valorization of corn cob as a source for nanocrystalline cellulose and hemicellulose production. *International Journal of Biological Macromolecules*, 163, 260-269.
- Luo, X., Bai, R., Zhen, D., Yang, Z., Huang, D., Mao, H., & Fu, C. (2019). Response surface optimization of the enzyme-based ultrasound-assisted extraction of acorn tannins and their corrosion inhibition properties. *Industrial Crops and Products*, 129, 405-413.
- Macedo, G. A., Santana, Á. L., Crawford, L. M., Wang, S. C., Dias, F. F., & de Moura Bell, J. M. (2021). Integrated microwave-and enzyme-assisted extraction of phenolic compounds from olive pomace. *Lwt*, 138, 110621.
- Marconi, M. A., & Lakatos, E. M. (2011). *Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos* (7a ed.). São Paulo: Atlas.
- Marić, M., Grassino, A. N., Zhu, Z., Barba, F. J., Brnčić, M., & Brnčić, S. R. (2018). An overview of the traditional and innovative approaches for pectin extraction from plant food wastes and by-products: Ultrasound-, microwaves-, and enzyme-assisted extraction. *Trends in Food Science & Technology*, 76, 28-37.
- Martins, N., Barros, L., Henriques, M., Silva, S., & Ferreira, I. C. (2015). Activity of phenolic compounds from plant origin against *Candida* species. *Industrial Crops and Products*, 74, 648-670.
- Martins, R. O., Gomes, I. C., Telles, A. D. M., Kato, L., Souza, P. S., & Chaves, A. R. (2020). Molecularly imprinted polymer as solid phase extraction phase for condensed tannin determination from Brazilian natural sources. *Journal of Chromatography A*, 1620, 460977.
- Meregalli, M. M., Puton, B. M. S., Camera, F. D. M., Amaral, A. U., Zeni, J., Cansian, R. L., ... & Backes, G. T. (2020). Conventional and ultrasound-assisted methods for extraction of bioactive compounds from red araçá peel (*Psidium cattleianum* Sabine). *Arabian Journal of Chemistry*, 13(6), 5800-5809.
- Monrad, J. K., Howard, L. R., King, J. W., Srinivas, K., & Mauromoustakos, A. (2010). Subcritical solvent extraction of anthocyanins from dried red grape pomace. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(5), 2862-2868.
- Moraes, M. N., Zabet, G. L., & Meireles, M. A. A. (2015). Extraction of tocotrienols from annatto seeds by a pseudo continuously operated SFE process integrated with low-pressure solvent extraction for bixin production. *The Journal of Supercritical Fluids*, 96, 262-271.
- Morata, A., Escott, C., Loira, I., López, C., Palomero, F., & González, C. (2021). Emerging non-thermal technologies for the extraction of grape anthocyanins. *Antioxidants*, 10(12), 1863.
- Mordí, R. C., Ademosun, O. T., Ajanaku, C. O., Olanrewaju, I. O., & Walton, J. C. (2020). Free radical mediated oxidative degradation of carotenes and xanthophylls. *Molecules*, 25(5), 1038.
- Moreira, S. A., Alexandre, E. M., Pintado, M., & Saraiva, J. A. (2019). Effect of emergent non-thermal extraction technologies on bioactive individual compounds profile from different plant materials. *Food Research International*, 115, 177-190.
- Naima, R., Oumam, M., Hannache, H., Sesbou, A., Charrier, B., Pizzi, A., & Charrier-El Bouhtoury, F. (2015). Comparison of the impact of different extraction methods on polyphenols yields and tannins extracted from Moroccan *Acacia mollissima* barks. *Industrial Crops and Products*, 70, 245-252.
- Nayak, B., Dahmoune, F., Moussi, K., Remini, H., Dairi, S., Aoun, O., & Khodir, M. (2015). Comparison of microwave, ultrasound and accelerated-assisted solvent extraction for recovery of polyphenols from *Citrus sinensis* peels. *Food chemistry*, 187, 507-516.
- Nazzaro, F., Fratianni, F., Ombra, M. N., d'Acerno, A., & Coppola, R. (2018). Recovery of biomolecules of high benefit from food waste. *Current Opinion in Food Science*, 22, 43-54.
- Ndayishimiye, J., & Chun, B. S. (2017). Optimization of carotenoids and antioxidant activity of oils obtained from a co-extraction of citrus (Yuzu ichandrin) by-products using supercritical carbon dioxide. *Biomass and Bioenergy*, 106, 1-7.
- Ng, H. S., Kee, P. E., Yim, H. S., Chen, P. T., Wei, Y. H., & Lan, J. C. W. (2020). Recent advances on the sustainable approaches for conversion and reutilization of food wastes to valuable bioproducts. *Bioresourcetechnology*, 302, 122889.
- Nowicki, P., Skrzypczak, M., & Pietrzak, R. (2010). Effect of activation method on the physicochemical properties and NO₂ removal abilities of sorbents obtained from plum stones (*Prunus domestica*). *Chemical Engineering Journal*, 162(2), 723-729.
- Nowicki, P., Wachowska, H., & Pietrzak, R. (2010). Active carbons prepared by chemical activation of plum stones and their application in removal of NO₂. *Journal of Hazardous Materials*, 181(1-3), 1088-1094.
- Osorio-Tobón, J. F. (2020). Recent advances and comparisons of conventional and alternative extraction techniques of phenolic compounds. *Journal of Food Science and Technology*, 57(12), 4299-4315.
- Ozkan, G., Guldiken, B., & Capanoglu, E. (2019). Effect of novel food processing technologies on beverage antioxidants. *Processing and Sustainability of Beverages*, 413-449.
- Pagano, I., Campone, L., Celano, R., Piccinelli, A. L., & Rastrelli, L. (2021). Green non-conventional techniques for the extraction of polyphenols from agricultural food by-products: A review. *Journal of Chromatography A*, 1651, 462295.
- Poaty, B., Dumarçay, S., Gérardin, P., & Perrin, D. (2010). Modification of grape seed and wood tannins to lipophilic antioxidant derivatives. *Industrial Crops and Products*, 31(3), 509-515.
- Puértolas, E., Saldaña, G., Condón, S., Álvarez, I., & Raso, J. (2010). Evolution of polyphenolic compounds in red wine from Cabernet Sauvignon grapes processed by pulsed electric fields during aging in bottle. *Food Chemistry*, 119(3), 1063-1070.

- Putnik, P., Kresoja, Ž., Bosiljkov, T., Jambrak, A. R., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., & Kovačević, D. B. (2019). Comparing the effects of thermal and non-thermal technologies on pomegranate juice quality: A review. *Food Chemistry*, 279, 150-161.
- Qian, J., Li, Y., Gao, J., He, Z., & Yi, S. (2020). The effect of ultrasonic intensity on physicochemical properties of Chinese fir. *Ultrasonics Sonochemistry*, 64, 104985.
- Raja, P. B., Rahim, A. A., Qureshi, A. K., & Awang, K. (2014). Green synthesis of silver nanoparticles using tannins. *Materials Science-Poland*, 32(3), 408-413.
- Rashid, R., Masoodi, F. A., Wani, S. M., Manzoor, S., & Gull, A. (2022). Ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from pomegranate peel, their nanoencapsulation and application for improvement in shelf life extension of edible oils. *Food Chemistry*, 385, 132608.
- Rashid, R., Wani, S. M., Manzoor, S., Masoodi, F. A., & Dar, M. M. (2022). Green extraction of bioactive compounds from apple pomace by ultrasound assisted natural deep eutectic solvent extraction: optimisation, comparison and bioactivity. *Food Chemistry*, volume 398, 133871.
- Ravindran, R., Hassan, S. S., Williams, G. A., & Jaiswal, A. K. (2018). A review on bioconversion of agro-industrial wastes to industrially important enzymes. *Bioengineering*, 5(4), 93.
- Redondo, D., Venturini, M. E., Luengo, E., Raso, J., & Arias, E. (2018). Pulsed electric fields as a green technology for the extraction of bioactive compounds from thinned peach by-products. *Innovative food science & emerging technologies*, 45, 335-343.
- Rezende, Y. R. R. S., Nogueira, J. P., & Narain, N. (2018). Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. *Food Chemistry*, 254, 281-291.
- Rhazi, N., Hannache, H., Oumam, M., Sesbou, A., Charrier, B., Pizzi, A., & Charrier-El Bouhtoury, F. (2019). Green extraction process of tannins obtained from Moroccan Acacia mollissima barks by microwave: Modeling and optimization of the process using the response surface methodology RSM. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(8), 2668-2684.
- Ribeiro, N. G., Xavier-Santos, D., Campelo, P. H., Guimarães, J. T., Pimentel, T. C., Duarte, M. C. K., & Cruz, A. G. (2022). Dairy foods and novel thermal and non-thermal processing: A bibliometric analysis. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 102934.
- Richter, B. E., Jones, B. A., Ezzell, J. L., Porter, N. L., Avdalovic, N., & Pohl, C. (1996). Accelerated solvent extraction: a technique for sample preparation. *Analytical chemistry*, 68(6), 1033-1039.
- Righi, H., Camila, S., Bolanho, B. C. (2018). Ultrasound-assisted extraction of betalines from red beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Food Engineering Process*, 41, 1-6.
- Rigueto, C. V. T., Piccin, J. S., Dettmer, A., Rosseto, M., Dotto, G. L., de Oliveira Schmitz, A. P. & Geraldi, C. A. Q. (2020). Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) roots, an amazon natural waste, as an alternative biosorbent to uptake a reactive textile dye from aqueous solutions. *Ecological Engineering*, 150, 105817.
- Rodrigues, P. L. G., Soares, S. R., Bastos, C. P., Victoria, F. N. (2020). Extração assistida por ultrassom de compostos bioativos da casca de Pitaia (*Hylourea Undatus*). Anais do IV Congresso de Inovação Tecnológica. Universidade Federal De Pelotas.
- Rodríguez-Concepcion, M., Avalos, J., Bonet, M. L., Boronat, A., Gomez-Gomez, L., Hornero-Mendez, D., & Zhu, C. (2018). A global perspective on carotenoids: Metabolism, biotechnology, and benefits for nutrition and health. *Progress in lipid research*, 70, 62-93.
- Rodríguez-Pérez, C., Quirantes-Piné, R., Fernández-Gutiérrez, A., & Segura-Carretero, A. (2015). Optimization of extraction method to obtain a phenolic compounds-rich extract from Moringa oleifera Lam leaves. *Industrial Crops and Products*, 66, 246-254.
- Rodsamran, P., & Sothornvit, R. (2019). Extraction of phenolic compounds from lime peel waste using ultrasonic-assisted and microwave-assisted extractions. *Food bioscience*, 28, 66-73.
- Saikia, S., Mahnot, N. K., & Mahanta, C. L. (2015). Optimisation of phenolic extraction from Averrhoa carambola pomace by response surface methodology and its microencapsulation by spray and freeze drying. *Food chemistry*, 171, 144-152.
- Saini, A., Panesar, P. S., & Bera, M. B. (2019). Valorization of fruits and vegetables waste through green extraction of bioactive compounds and their nanoemulsions-based delivery system. *Bioresources and Bioprocessing*, 6(1), 1-12.
- Saini, R. K., Keum, Y. S. (2018). Carotenoid extraction methods: A review of recent developments. *Food Chemistry*, 240, 90-103.
- Saldaña, M. D. A., Silva, E. K., Cornejo, J. E. O., & Lopez, C. L. O. (2021). Green Processes in Foodomics: Biorefineries in the Food Industry.
- Santos Filho, A. F., da Silva, D. A., da Silva, L. H. M., & da Cruz Rodrigues, A. M. (2021). Avaliação da extração assistida por ultrassom de compostos bioativos das folhas de chicória (*Eryngium foetidum* L.) e cariru (*Talinum triangulare* Jacq. Willd). *Brazilian Journal of Development*, 7(12), 118256-118270.
- Santos, D. B. (2012). Extração com dióxido de carbono supercrítico e estudo da composição dos extratos de sementes de Pitanga (*Eugenia uniflora* L.). Dissertação de Mestrado em Ciências, Universidade de São Paulo.
- Santos, M. C. P. (2017). Caracterização do potencial funcional de produto e subproduto de frutas e hortaliças. Dissertação de Mestrado em Alimentos e Nutrição, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro.
- Santos, S. S., Rodrigues, L. M., Costa, S. C., & Madrona, G. S. (2019). Antioxidant compounds from blackberry (*Rubus fruticosus*) pomace: Microencapsulation by spray-dryer and pH stability evaluation. *Food Packaging and Shelf Life*, 20, 100177.
- Serment-Moreno, V., Jacobo-Velázquez, D. A., Torres, J. A., & Welti-Chanes, J. (2017). Microstructural and physiological changes in plant cell induced by pressure: Their role on the availability and pressure-temperature stability of phytochemicals. *Food Engineering Reviews*, 9(4), 314-334.

- Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., Landi, M., & Zheng, B. (2019). Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. *Molecules*, 24(13), 2452.
- Sharma, M., Usmani, Z., Gupta, V. K., & Bhat, R. (2021). Valorization of fruits and vegetable wastes and by-products to produce natural pigments. *Critical Reviews in Biotechnology*, 41(4), 535-563.
- Shirsath, S. R., Sonawane, S. H., & Gogate, P. R. (2012). Intensification of extraction of natural products using ultrasonic irradiations—A review of current status. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 53, 10-23.
- Shouqin, Z., Junjie, Z., & Changzhen, W. (2004). Novel high pressure extraction technology. *International journal of Pharmaceutics*, 278(2), 471-474.
- Silva, T. V. B. D., Danesi, E. D. G., Ruiz, S. P., & Bolanho, B. C. (2019). Aplicação de extração assistida por micro-ondas para obtenção de compostos bioativos e resíduo fibroso a partir do subproduto de goiaba. *Hig. aliment*, 3262-3266.
- Sinha, S., & Tripathi, P. (2021). Trends and challenges in valorisation of food waste in developing economies: A case study of India. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4, 100162.
- Sirerol, J. A., Rodríguez, M. L., Mena, S., Asensi, M. A., Estrela, J. M., & Ortega, A. L. (2016). Role of natural stilbenes in the prevention of cancer. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016.
- Socaci, S. A., Ruginã, D. O., Diaconeasa, Z. M., Pop, O. L., Fărcaș, A. C., Păucean, A. & Pinte, A. (2017). Antioxidant compounds recovered from food wastes. *Functional Food-Improve Health through Adequate Food*, 3-22.
- SOUZA, C. G. (2015). Extração de compostos bioativos e pectina da casca de maracujá utilizando sistema pressurizado e ultrassom. 2015. 63 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Stajčić, S., Četković, G., Čanadanović-Brunet, J., Djilas, S., Mandić, A., & Četojević-Simin, D. (2015). Tomato waste: Carotenoids content, antioxidant and cell growth activities. *Food chemistry*, 172, 225-232.
- Tapas, A. R., Sakarkar, D. M., & Kakde, R. B. (2008). Flavonoids as nutraceuticals: a review. *Tropical journal of Pharmaceutical research*, 7(3), 1089-1099.
- Tiwari, B. K. (2015). Ultrasound: A clean, green extraction technology. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 71, 100-109.
- Trigo, J. P., Alexandre, E. M., Saraiva, J. A., & Pintado, M. E. (2022). High value-added compounds from fruit and vegetable by-products—Characterization, bioactivities, and application in the development of novel food products. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(8), 1388-1416.
- Udugama, I. A., Petersen, L. A., Falco, F. C., Junicke, H., Mitic, A., Alsina, X. F., ... & Gernaey, K. V. (2020). Resource recovery from waste streams in a water-energy-food nexus perspective: Toward more sustainable food processing. *Food and Bioproducts Processing*, 119, 133-147.
- Vardanega, R., Santos, D. T., & Meireles, M. A. A. (2014). Intensification of bioactive compounds extraction from medicinal plants using ultrasonic irradiation. *Pharmacognosy reviews*, 8(16), 88.
- Varjani, S., & Upasani, V. N. (2021). Bioaugmentation of *Pseudomonas aeruginosa* NCIM 5514—A novel oily waste degrader for treatment of petroleum hydrocarbons. *Bioresource Technology*, 319, 124240.
- Veggi, P. C., Martinez, J., & Meireles, M. A. A. (2012). Fundamentals of microwave extraction. In *Microwave-assisted extraction for bioactive compounds* (pp. 15-52). Springer, Boston, MA.
- Vieira, P.A.F. (2007). Caracterização dos resíduos da manga (*Mangifera indica* L.) e efeitos sobre o desempenho e os parâmetros bioquímicos em frangos de corte. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa.
- Vigano, J., de Aguiar, A. C., Veggi, P. C., Sanches, V. L., Rostagno, M. A., & Martinez, J. (2022). Techno-economic evaluation for recovering phenolic compounds from acai (*Euterpe oleracea*) by-product by pressurized liquid extraction. *The Journal of Supercritical Fluids*, 179, 105413.
- Vinatoru, M., Mason, T. J., & Calinescu, I. (2017). Ultrasonically assisted extraction (UAE) and microwave assisted extraction (MAE) of functional compounds from plant materials. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 97, 159-178.
- Voigt, D. D., Kelly, A. L., & Huppertz, T. (2015). High-pressure processing of milk and dairy products. *Emerg Dairy Process Technol Oppor Dairy Ind*, 3, 71-92.
- Wang, Z., Guo, Q. Y., Zhang, X. J., Li, X., Li, W. T., Ma, X. T., & Ma, L. J. (2014). Corilagin attenuates aerosol bleomycin-induced experimental lung injury. *International Journal of Molecular Sciences*, 15(6), 9762-9779.
- Williamson, G., Kay, C. D., & Crozier, A. (2018). The bioavailability, transport, and bioactivity of dietary flavonoids: A review from a historical perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(5), 1054-1112.
- Wu, J., Lin, L., & Chau, F. T. (2001). Ultrasound-assisted extraction of ginseng saponins from ginseng roots and cultured ginseng cells. *Ultrasonics sonochemistry*, 8(4), 347-352.
- Xu, B., Ren, A., Chen, J., Li, H., Wei, B., Wang, J., ... & Ma, H. (2021). Effect of multi-mode dual-frequency ultrasound irradiation on the degradation of waxy corn starch in a gelatinized state. *Food Hydrocolloids*, 113, 106440.
- Yammine, S., Brianceau, S., Manteau, S., Turk, M., Ghidossi, R., Vorobiev, E., & Mietton-Peuchot, M. (2018). Extraction and purification of high added value compounds from by-products of the winemaking chain using alternative/nonconventional processes/technologies. *Critical reviews in food science and nutrition*, 58(8), 1375-1390.

Zhang, Z. H., Wang, L. H., Zeng, X. A., Han, Z., & Brennan, C. S. (2019). Non-thermal technologies and its current and future application in the food industry: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, *54*(1), 1-13.

Zhang, Z., & Li, G. (2010). A review of advances and new developments in the analysis of biological volatile organic compounds. *Microchemical journal*, *95*(2), 127-139.

Zhi, W. J., Wang, L. F., & Hu, X. J. (2017). Recent advances in the effects of microwave radiation on brains. *Military Medical Research*, *4*(1), 1-14.