

RESÍDUOS DE ABACAXI NA CONSERVAÇÃO E SEGURANÇA DE ALIMENTOS – UMA REVISÃO CRÍTICA

Felipe Bezerra de Oliveira¹, Williany Gomes Leal², Maria Paula Lopes dos Anjos³

¹Universidade Federal da Paraíba, Bananeiras, Brasil (felipe.b3oliveira@gmail.com)

²Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil

³Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, Brasil

Resumo: O aumento da geração de resíduos de frutas tem impulsionado pesquisas sobre seu reaproveitamento. Este estudo realizou uma revisão da literatura publicada entre 2015 e 2025 sobre a utilização de resíduos do processamento do abacaxi como estratégia de conservação e promoção da segurança dos alimentos. Foram consultadas as bases Google Scholar, WoS, Scopus, Elsevier e periódicos da CAPES, que evidenciaram o potencial antimicrobiano e antioxidante desses resíduos em novos produtos.

Palavras-chave: Resíduos agroindustriais; Ananas comosus; Compostos bioativos; Segurança de alimentos; economia circular

INTRODUÇÃO

A intensificação do processamento agroindustrial de frutas tem resultado em volumes expressivos de resíduos orgânicos, configurando um desafio contemporâneo para a gestão sustentável da cadeia alimentar. Nesse contexto, a valorização de subprodutos vegetais tem se consolidado como uma estratégia promissora, voltada à redução de impactos ambientais e à geração de compostos bioativos de interesse tecnológico, especialmente no âmbito da conservação de alimentos e do desenvolvimento de soluções naturais com potencial antimicrobiano e funcional (Patra *et al.*, 2022).

O abacaxi (*Ananas comosus*) destaca-se entre as frutas tropicais cujo processamento gera quantidades significativas de resíduos, como cascas, coroas e bagaços, os quais ainda são pouco explorados em escala industrial. Estudos recentes apontam que esses subprodutos apresentam potencial de aplicação em diferentes setores, incluindo alimentos, energia e saúde, devido à presença de compostos bioativos e nutrientes funcionais, reforçando sua relevância dentro de estratégias integradas de sustentabilidade e economia circular (Mgeni *et al.*, 2025).

No que se refere às estratégias de valorização, pesquisas indicam que resíduos de abacaxi podem ser convertidos em ingredientes funcionais por meio da extração de compostos bioativos, com aplicações diretas na indústria alimentícia. Essas frações têm sido investigadas como fontes alternativas de enzimas e substâncias com propriedades tecnológicas relevantes, ampliando seu potencial de uso em processos como o desenvolvimento de sistemas naturais de conservação

e melhoria de características sensoriais de alimentos (Deka *et al.*, 2025).

Do ponto de vista da segurança alimentar, compostos fenólicos presentes em resíduos vegetais têm demonstrado atividade antimicrobiana multialvo, atuando na inibição de microrganismos deteriorantes e patogênicos por diferentes mecanismos bioquímicos. Essa multifuncionalidade reforça o interesse científico na aplicação desses compostos como alternativas naturais a aditivos sintéticos, especialmente no prolongamento da vida útil de alimentos e na manutenção da qualidade microbiológica (Zhao *et al.*, 2025).

Além disso, a bromelina, enzima proteolítica presente no abacaxi, tem sido amplamente estudada por sua aplicação na indústria de carnes, especialmente no processo de amaciamento, evidenciando seu potencial tecnológico. Sua utilização demonstra como enzimas de origem vegetal podem desempenhar papel relevante na modificação de estruturas proteicas alimentares, contribuindo tanto para a melhoria da textura quanto para a agregação de valor aos produtos alimentícios (Azmi *et al.*, 2023).

Nesse contexto, a aplicação de extratos de casca de abacaxi em sistemas de embalagem ativa também tem demonstrado resultados promissores na extensão da vida útil de alimentos perecíveis, como produtos lácteos frescos. A incorporação desses extratos em filmes comestíveis evidencia melhorias na estabilidade microbiológica e na liberação controlada de compostos bioativos, reforçando seu potencial como tecnologia sustentável para conservação de alimentos (Jatav *et al.*, 2023).



Diante desse panorama, o presente estudo tem como objetivo conduzir uma revisão crítica e integrativa da literatura científica publicada entre 2015 e 2025 acerca da utilização de resíduos do processamento do abacaxi, cascas, talos, coroas, bagaços e folhas, como estratégia de conservação e de promoção da segurança de alimentos.

METODOLOGIA

A metodologia adotada para este estudo consistiu em uma revisão abrangente da literatura científica publicada entre os anos de 2015 e 2025, com foco no papel dos resíduos de abacaxi na conservação e segurança de alimentos. O recorte temporal foi definido em razão do aumento significativo das pesquisas voltadas para o aproveitamento de subprodutos agroindustriais e da relevância crescente das discussões sobre sustentabilidade e inovação tecnológica na área de alimentos durante o período considerado.

Foram realizadas buscas sistemáticas nas principais bases de dados internacionais e nacionais, incluindo Google Scholar, Science Direct, Web of Science (WoS), Elsevier, Scopus e periódicos acessados por meio da plataforma da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). A seleção dessas fontes se justifica pela ampla cobertura de publicações científicas e pela relevância para pesquisas multidisciplinares envolvendo ciência de alimentos, microbiologia, química e tecnologia de conservação.

A estratégia de busca foi estruturada a partir de descritores e palavras-chave em português e inglês, combinados com operadores booleanos, de modo a ampliar a abrangência dos resultados. Em português, os termos empregados foram: resíduos de abacaxi, subprodutos agroindustriais, conservação de alimentos, segurança alimentar, antimicrobianos naturais e embalagens biodegradáveis. Em inglês, foram utilizados os equivalentes: pineapple residues, agro-industrial by-products, food preservation, food safety, natural antimicrobials e biodegradable packaging. Essa abordagem, aplicada de maneira rigorosa, possibilitou a inclusão de estudos publicados em diferentes contextos acadêmicos e ampliou a representatividade da revisão, garantindo maior robustez e consistência na análise crítica da produção científica sobre o tema.

Os critérios de inclusão contemplaram estudos que abordassem direta ou indiretamente a utilização de resíduos de abacaxi na conservação e segurança de alimentos, especialmente no que se refere a aspectos antimicrobianos, antioxidantes, desenvolvimento de embalagens ativas e aproveitamento sustentável de subprodutos. Foram excluídos trabalhos fora do recorte temporal, pesquisas realizadas com resíduos de

outras frutas sem relação com o abacaxi e publicações sem relevância tecnológica ou científica para o tema.

O processo de análise envolveu três etapas principais: (i) triagem inicial de títulos e resumos, (ii) leitura completa dos artigos selecionados e extração sistemática de dados, (iii) registrando informações como autor, ano, local do estudo, tipo de resíduo de abacaxi utilizado, aplicação tecnológica e (iv) principais resultados relacionados à conservação e segurança alimentar. Posteriormente, os resultados foram organizados em categorias temáticas, antimicrobianos naturais, antioxidantes, embalagens biodegradáveis e sustentabilidade, permitindo uma síntese crítica e comparativa entre diferentes abordagens e contextos de aplicação.

A revisão abrange os principais compostos bioativos identificados nesses subprodutos, os mecanismos antioxidantes e antimicrobianos evidenciados, as aplicações tecnológicas desenvolvidas em sistemas de embalagem, produtos cárneos e outros alimentos processados, bem como as perspectivas de industrialização dessas aplicações à luz dos princípios da economia circular e da bioeconomia sustentável, contribuindo para a fundamentação científica de políticas de valorização agroindustrial em países tropicais.

Para assegurar transparência metodológica, foram contabilizados os números de artigos em cada etapa do processo. Inicialmente, foram identificadas 178 produções científicas nas bases consultadas. Após a aplicação dos critérios de elegibilidade, 51 estudos cumpriram integralmente os requisitos e foram incorporados à análise qualitativa final. Esse detalhamento quantitativo reforça a consistência e a confiabilidade da revisão, evitando lacunas metodológicas e garantindo maior robustez às conclusões apresentadas.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

SEGURANÇA ALIMENTAR E RISCOS QUÍMICOS

A segurança alimentar constitui um dos pilares fundamentais para a promoção da saúde pública, abrangendo não apenas a disponibilidade e o acesso aos alimentos, mas também a garantia de sua qualidade, inocuidade e valor nutricional. Nesse contexto, a presença de contaminantes químicos em alimentos de origem vegetal representa uma preocupação crescente, especialmente em países com elevada produção agrícola, como o Brasil. Entre as frutas amplamente consumidas pela população brasileira, o abacaxi destaca-se tanto pela sua importância econômica quanto pela necessidade de monitoramento constante quanto à presença de resíduos de agrotóxicos. A segurança alimentar relacionada a essa cultura envolve o controle rigoroso



dos riscos químicos e a adoção de estratégias sustentáveis que favoreçam a conservação dos alimentos e a redução de impactos ambientais (FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO 2023).

No Brasil, o monitoramento oficial de resíduos de agrotóxicos é realizado por meio do Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA), coordenado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Os resultados mais recentes apontam que o abacaxi figura entre os alimentos que demandam maior atenção das autoridades sanitárias devido à ocorrência de amostras com potencial risco ao consumidor. Esse cenário reforça a importância da vigilância contínua, da rastreabilidade dos produtos agrícolas e da implementação de boas práticas de produção ao longo da cadeia agroalimentar (ANVISA, 2024).

A preocupação com a segurança alimentar também está relacionada aos impactos dos agrotóxicos sobre a saúde humana. Evidências científicas demonstram que a exposição prolongada a determinadas substâncias químicas utilizadas na agricultura pode ocasionar alterações hormonais, distúrbios metabólicos e danos ao sistema nervoso. Esses efeitos são particularmente preocupantes em grupos mais vulneráveis, como crianças, idosos e gestantes, tornando indispensável o fortalecimento das políticas públicas de controle e monitoramento dos alimentos consumidos pela população (Cimino *et al.*, 2017).

Além dos riscos associados à contaminação química, os resíduos provenientes do processamento do abacaxi têm despertado interesse científico devido ao seu potencial de aplicação na conservação de alimentos. Cascas, coroas e bagaços apresentam elevada concentração de compostos bioativos, como fenólicos e flavonoides, que possuem atividade antioxidante e antimicrobiana. Essas características permitem sua utilização no desenvolvimento de soluções inovadoras destinadas ao aumento da vida útil dos produtos alimentícios (Moo-Huchin *et al.*, 2013).

Entre as aplicações mais promissoras destacam-se as embalagens biodegradáveis elaboradas a partir de fibras extraídas dos resíduos de abacaxi. Esses materiais apresentam propriedades mecânicas adequadas e podem atuar como barreiras contra fatores que aceleram a deterioração dos alimentos. Além de contribuir para a preservação da qualidade dos produtos, essas embalagens representam uma alternativa sustentável aos plásticos sintéticos tradicionalmente utilizados pela indústria alimentícia (Mahajan *et al.*, 2023).

Outra estratégia relevante envolve a incorporação de extratos obtidos dos resíduos de abacaxi em filmes e revestimentos com ação ativa. Esses sistemas são capazes de liberar compostos naturais com propriedades antioxidantes e antimicrobianas,

reduzindo o crescimento de microrganismos deteriorantes e retardando processos oxidativos. Como resultado, ocorre a ampliação do período de armazenamento dos alimentos sem a necessidade de elevadas concentrações de conservantes químicos sintéticos (Ninjaranai, 2015).

Sob a perspectiva ambiental, o aproveitamento dos resíduos de abacaxi está diretamente relacionado aos princípios da economia circular, que busca reduzir desperdícios e maximizar o uso dos recursos disponíveis. A valorização desses subprodutos agroindustriais contribui para minimizar impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado e, simultaneamente, gera novas oportunidades de inovação tecnológica e agregação de valor econômico às cadeias produtivas agrícolas (Sah *et al.*, 2016).

Dessa forma, os resíduos de abacaxi apresentam uma relação estratégica com a segurança alimentar contemporânea. Enquanto o monitoramento dos resíduos de agrotóxicos é essencial para garantir a inocuidade dos alimentos ofertados à população, o aproveitamento sustentável dos subprodutos da fruta oferece alternativas inovadoras para conservação, redução de perdas e fortalecimento da sustentabilidade dos sistemas alimentares. A integração dessas abordagens representa um caminho promissor para promover alimentos mais seguros, saudáveis e ambientalmente responsáveis (Tsegay *et al.*, 2025).

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS RESÍDUOS DE ABACAXI

O talo e a casca do abacaxi (*Ananas comosus* L. Merr.) constituem as principais matrizes para a obtenção de bromelina, uma cisteíno-protease de ampla especificidade substrato que apresenta notável estabilidade catalítica em faixas de pH entre 3,5 e 8,0 e temperatura de até 60 °C. Estudos bioquímicos demonstram que existem pelo menos duas isoformas distintas da enzima no fruto, a bromelina do talo e a da casca, as quais diferem na sequência de aminoácidos e no perfil cinético, sendo ambas de elevado interesse industrial nos segmentos farmacêutico, têxtil e de alimentos. A extração a partir dos resíduos agroindustriais do processamento do fruto representa uma estratégia de valorização sustentável, uma vez que tais subprodutos correspondem a 30%–40% da massa total do fruto. (Kumar *et al.*, 2023; Meena *et al.*, 2021)

A casca do abacaxi constitui fonte proeminente de compostos fenólicos livres e ligados à parede celular, com destaque para os ácidos gálico, clorogênico, ferúlico, cafeico e *p*-cumárico, identificados e quantificados por análise cromatográfica de alta eficiência (HPLC-DAD/MS). Tais ácidos fenólicos exercem atividade antioxidante de amplo espectro, neutralizando radicais livres em ambientes hidrofílicos e lipofílicos e exibindo efeitos adicionais



antimutagênicos, anticarcinogênicos e cardioprotetores. Investigações recentes revelaram que a fermentação em estado sólido da casca com *Rhizopus oryzae* incrementa o conteúdo de fenólicos totais em até 176% em relação à amostra não fermentada, em razão da ação de enzimas hidrolíticas microbianas sobre os complexos fenol-parede celular. (Campos *et al.*, 2020; Polania *et al.*, 2022).

As frações fibrosas do bagaço desidratado apresentam composição lignocelulósica com predominância de celulose, hemicelulose e lignina, cujas proporções variam conforme o cultivar e as condições de processamento. Estudos com a casca da variedade MD2 indicam que a fração insolúvel rica em fibras representa entre 41,8% e 48,0% da massa seca, e que os polímeros estruturais presentes conferem capacidade de retenção de água de 7,94–12,3 mL/g e capacidade de retenção de óleo de 5,84–8,64 g/g, parâmetros superiores aos verificados em celulose isolada. Tais propriedades tecno-funcionais tornam o bagaço um ingrediente promissor para aplicação em matrizes biodegradáveis e formulações alimentícias, ampliando o rendimento tecnológico de produtos cárneos, panificados e análogos vegetais. (Huang *et al.*, 2011; Pacheco *et al.*, 2022)

A coroa do abacaxi, subproduto sistematicamente subutilizado, abriga perfil fitoquímico notavelmente diversificado. Análises por UHPLC-MS² identificaram 177 compostos fenólicos na farinha da coroa, sendo os mais abundantes os ácidos *p*-cumárico, ferúlico e 4-hidroxibenzaldeído, além de flavonoides como catequinas, epicatequinas e quercetina-3-O-rutinosídeo e lignanas como isohydroxymatairesinol e pinoresinol. A capacidade antioxidante das frações ligadas foi especialmente expressiva, atingindo 467,8 µg equivalentes de Trolox/g no ensaio ABTS, indicando forte interação entre os compostos fenólicos e a matriz lignocelulósica. A coroa apresenta ainda alto índice de retenção de água (8,84 g H₂O/g massa seca) e elevado teor de fibra total (67,22%), reforçando seu potencial multifuncional como ingrediente alimentar e substrato para bioprodução. (Brito *et al.*, 2020; Nogueira *et al.*, 2025).

A pectina extraída da casca do abacaxi destaca-se por suas propriedades gelificantes diferenciadas, determinadas pelo grau de metoxilação (GM), que define o mecanismo de formação de gel: pectinas de alto GM (>50%) gelificam em ambiente ácido na presença de açúcar, enquanto pectinas de baixo GM (<50%) formam géis mediante pontes de cálcio entre grupos carboxílicos dissociados. A extração por ultrassom da casca do abacaxi produz pectinas de alto GM com rendimentos de 1,02%–2,12%, com perfil de galacturonatos que confere biocompatibilidade, seletividade à permeação de gases e versatilidade de aplicação como agente gelificante, espessante,

emulsificante e estabilizante em produtos como geleias, iogurtes, revestimentos comestíveis e embalagens ativas. O status GRAS (Generally Recognized As Safe) concedido pela FDA consolida seu uso seguro como ingrediente tecnológico. (Shivamath *et al.*, 2022; Meerasri; Sothornvit, 2023).

Os ácidos orgânicos presentes nos extratos dos resíduos, especialmente ácido cítrico e ácido málico, identificados por espectroscopia de RMN ¹H e por HPLC, desempenham múltiplas funções bioativas. Além de conferir acidez característica ao fruto, tais ácidos exercem propriedades antimicrobianas por redução do pH e perturbação da homeostase intracelular bacteriana, e atuam como agentes quelantes de íons metálicos pró-oxidantes mediante interação de seus grupos carboxílicos com cátions como Fe²⁺ e Cu²⁺, inibindo reações catalisadas por metais que degradam compostos termossensíveis. O ácido cítrico, por exemplo, demonstrou inibir o crescimento de *Salmonella* spp. por quelação de íons metálicos essenciais à atividade de enzimas bacterianas, interrompendo processos metabólicos críticos. (Azizan *et al.*, 2020; Paz-Arteaga *et al.*, 2023; Bruce; Boateng, 2025).

A capacidade de retenção de água e de óleo do bagaço desidratado de abacaxi é governada pela arquitetura tridimensional das fibras insolúveis, pela porosidade da matriz lignocelulósica e pela distribuição de grupos hidroxílicos disponíveis para interação com moléculas de água. Investigações com frações de fibra insolúvel derivadas da casca do abacaxi demonstraram capacidade de intumescimento entre 10,6 e 18,4 mL/g e capacidade de troca catiônica de 102–120 meq/kg, parâmetros que qualificam esse subproduto para enriquecimento de formulações cárneas, snacks e produtos de panificação, contribuindo para melhoria da textura, retenção de suculência e redução de perdas por cozimento. (Huang *et al.*, 2011).

A composição mineral dos subprodutos do abacaxi, determinada por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), revela concentrações relevantes de potássio, cálcio, magnésio e manganês. A farinha da coroa, por exemplo, confirmou a presença desses minerais essenciais em quantidades nutricionalmente significativas, enquanto a casca apresenta conteúdo expressivo de cálcio e magnésio que potencializa o valor nutricional de farinhas funcionais obtidas por secagem. O manganês, mineral no qual o abacaxi se sobressai frente a outras frutas, é cofator de enzimas antioxidantes como a superóxido dismutase manganês-dependente, contribuindo indiretamente para a proteção celular contra o estresse oxidativo. (Mehraj *et al.*, 2024; Nogueira *et al.*, 2025).

Os compostos voláteis identificados na polpa aderida à casca do abacaxi são compostos majoritariamente



por ésteres alifáticos, como acetato de metila, hexanoato de etila e butirato de metila, e por hidrocarbonetos terpênicos, responsáveis pelo aroma tropical característico da espécie. Esses compostos são detectáveis mesmo após processos moderados de desidratação térmica, haja vista que a estrutura molecular dos ésteres de cadeia curta confere volatilidade e resistência relativa à degradação em temperaturas abaixo de 70 °C. Técnicas de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS) têm sido empregadas para caracterizar esse perfil aromático, sinalizando o potencial de aproveitamento desses resíduos em aromatizantes naturais e fragrâncias alimentícias. (Campos *et al.*, 2020; Mehraj *et al.*, 2024).

O bagaço e a casca do abacaxi contêm oligossacarídeos não digeríveis, polissacarídeos pécicos e frações de fibras solúveis capazes de exercer efeito prebiótico clinicamente relevante. Estudos *in vitro* demonstraram que extratos de casca e de polpa de abacaxi promovem o crescimento seletivo de cepas de *Lactobacillus acidophilus*, *L. casei* e *L. paracasei* em valores comparáveis ao meio convencional com glicose, incrementando as populações de probióticos em iogurtes por 0,3–1,4 ciclos logarítmicos. Adicionalmente, xilobiose e xilotriose derivadas de hidrólise enzimática de frações hemicelulósicas do resíduo demonstraram estimular o crescimento de *Bifidobacterium*, reforçando o potencial desse subproduto como substrato prebiótico de segunda geração. (Sah *et al.*, 2015; Gómez-García *et al.*, 2022; Como, Nyam, 2024).

A lignina presente na parede celular da casca do abacaxi possui estrutura aromática complexa resultante da polimerização oxidativa de álcoois monolignólicos (coniferílico, sinapílico e *p*-cumarílico), cujos anéis fenólicos conferem capacidade de absorção de radiação ultravioleta nas faixas UVA e UVB. Análises espectroscópicas por FTIR e RMN ¹³C revelam que a lignina de resíduos de abacaxi apresenta unidades predominantemente do tipo siringila (S) e guaiacila (G), com capacidade de atenuar o fotoclareamento de bioativos fotossensíveis, como carotenoides e ácidos fenólicos, quando incorporada como barreira natural em formulações ou embalagens biodegradáveis. (Mateo *et al.*, 2025; Mehraj *et al.*, 2024).

A composição centesimal dos resíduos de abacaxi é intrinsecamente variável, respondendo a fatores agrônômicos como cultivar, tipo de solo, regime hídrico, práticas de fertilização, altitude e estágio de maturação no momento da colheita. Estudos com a variedade MD2 e a variedade Pérola evidenciam diferenças significativas no teor de compostos fenólicos totais, fibras, bromelina e minerais, decorrentes dessas variáveis ambientais e genotípicas. Tal variabilidade reforça a necessidade de

caracterização sistemática de cada lote de resíduo antes de sua inserção como ingrediente funcional em processos produtivos, garantindo a reprodutibilidade tecnológica e nutricional dos produtos desenvolvidos. (Azizan *et al.*, 2020; Mehraj *et al.*, 2024).

APLICAÇÕES NA CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS

A utilização de subprodutos do processamento do abacaxi tem se destacado como uma estratégia promissora na conservação de alimentos, impulsionada pela presença de compostos bioativos com elevada capacidade antioxidante e antimicrobiana. Cascas, coroa e talos apresentam concentrações significativas de compostos fenólicos, flavonoides e outras substâncias bioativas capazes de retardar processos oxidativos em alimentos, contribuindo para o aumento da vida útil e para o desenvolvimento de ingredientes naturais destinados à substituição de aditivos sintéticos na indústria alimentícia (Crizel *et al.*, 2016).

No setor de produtos cárneos, os compostos extraídos da casca do abacaxi têm sido estudados como antioxidantes naturais para reduzir a oxidação lipídica e preservar características sensoriais durante o armazenamento refrigerado. A incorporação desses compostos em sistemas de conservação mostrou potencial para controlar alterações de cor, sabor e aroma em carnes, contribuindo para a manutenção da qualidade do produto por períodos mais prolongados (Lourenço *et al.*, 2021).

Além da ação antioxidante, os resíduos de abacaxi apresentam atividade antimicrobiana relevante contra microrganismos associados à deterioração de alimentos. Estudos demonstram que os extratos da casca são ricos em compostos fenólicos capazes de inibir o crescimento microbiano, tornando-se alternativas promissoras para aplicação como conservantes naturais e agentes de biossegurança na cadeia de alimentos (Jatav *et al.*, 2022).

Outra aplicação inovadora envolve o desenvolvimento de embalagens ativas e biodegradáveis contendo extratos obtidos dos resíduos de abacaxi. A incorporação desses compostos em filmes à base de biopolímeros aumenta a atividade antioxidante e antimicrobiana da embalagem, promovendo proteção adicional contra processos oxidativos e crescimento microbiano, além de contribuir para a redução do uso de materiais sintéticos convencionais (Gond *et al.*, 2025).

Na área de panificação e produtos de confeitaria, derivados do abacaxi têm sido empregados como ingredientes funcionais capazes de enriquecer o valor nutricional e aumentar a estabilidade dos produtos. A incorporação de compostos bioativos provenientes dos subprodutos da fruta tem demonstrado potencial



para melhorar a atividade antioxidante durante o armazenamento sem comprometer as características tecnológicas e sensoriais dos alimentos (Lasunon *et al.*, 2022).

A aplicação de resíduos de abacaxi em alimentos está alinhada aos princípios da economia circular e da bioeconomia sustentável, uma vez que promove o aproveitamento integral da matéria-prima e a obtenção de ingredientes de alto valor agregado. Revisões recentes destacam que os resíduos gerados pelo processamento do abacaxi constituem fontes importantes de antioxidantes fenólicos, fibras alimentares e enzimas, com potencial para utilização em diferentes sistemas de conservação e desenvolvimento de alimentos funcionais (Damasceno *et al.* 2016).

SUSTENTABILIDADE E ECONOMIA CIRCULAR

A indústria de processamento de abacaxi gera grandes quantidades de resíduos, principalmente cascas, coroas, talos e bagaço, que podem representar mais de 50% da massa total da fruta. Tradicionalmente, esses materiais são descartados ou destinados a aplicações de baixo valor agregado, contribuindo para impactos ambientais e custos adicionais de manejo. Nesse contexto, a valorização desses subprodutos surge como uma estratégia alinhada aos princípios da sustentabilidade, permitindo transformar resíduos em matérias-primas para a obtenção de compostos bioativos, fibras alimentares e ingredientes funcionais para a indústria de alimentos (Oliver-Simancas *et al.*, 2024).

A economia circular propõe a manutenção dos recursos em uso pelo maior tempo possível, reduzindo desperdícios e promovendo a recuperação de materiais de valor. Os resíduos do processamento de abacaxi apresentam elevado potencial para inserção nesse modelo, uma vez que contêm compostos fenólicos, açúcares fermentescíveis, fibras dietéticas e enzimas que podem ser reaproveitados em diferentes cadeias produtivas. Essa abordagem permite reduzir a dependência de matérias-primas convencionais e aumentar a eficiência dos sistemas agroindustriais (Nath *et al.*, 2023).

Entre as principais aplicações sustentáveis destaca-se a recuperação de compostos antioxidantes para utilização em alimentos funcionais. O aproveitamento desses compostos contribui para minimizar perdas de recursos naturais e, simultaneamente, gera ingredientes de alto valor agregado destinados à conservação e ao enriquecimento nutricional de produtos alimentícios. Dessa forma, resíduos anteriormente considerados passivos ambientais passam a integrar cadeias produtivas mais sustentáveis e rentáveis (Verni; Casanova, 2022).

Outra contribuição importante para a economia circular consiste na utilização dos resíduos de abacaxi como substratos para processos biotecnológicos. Os elevados teores de carboidratos presentes nesses materiais favorecem a produção de compostos de interesse industrial por meio de fermentação, reduzindo a necessidade de utilização de matérias-primas específicas e promovendo o aproveitamento integral da biomassa gerada durante o processamento da fruta (Sarangi *et al.*, 2022).

O desenvolvimento de embalagens biodegradáveis a partir de compostos extraídos dos resíduos de abacaxi também representa uma estratégia relevante de sustentabilidade. A incorporação desses extratos em filmes biodegradáveis permite agregar funcionalidades antioxidantes e antimicrobianas às embalagens, reduzindo simultaneamente o desperdício de resíduos agroindustriais e a dependência de materiais sintéticos derivados do petróleo (Três *et al.*, 2024).

Além dos benefícios ambientais, a valorização dos resíduos de abacaxi contribui para o fortalecimento da bioeconomia, gerando novas oportunidades de negócios e aumentando a competitividade do setor agroalimentar. O aproveitamento integral da matéria-prima permite a criação de novos produtos e processos, promovendo inovação tecnológica e agregação de valor às cadeias produtivas associadas ao cultivo e processamento do abacaxi (Vargas-Vargas; Silva, 2025).

A redução da geração de resíduos também está diretamente relacionada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente aqueles voltados ao consumo e produção responsáveis. O reaproveitamento dos subprodutos do abacaxi contribui para a diminuição da carga orgânica descartada no ambiente, reduzindo emissões associadas à decomposição e promovendo uma utilização mais eficiente dos recursos naturais empregados na produção agrícola (Duarte *et al.*, 2021).

Portanto, a aplicação dos resíduos de abacaxi em sistemas produtivos baseados na economia circular representa uma alternativa estratégica para conciliar desenvolvimento econômico, segurança alimentar e preservação ambiental. As evidências científicas demonstram que esses materiais possuem elevado potencial para serem reinseridos na cadeia produtiva por meio da obtenção de ingredientes funcionais, compostos bioativos e biomateriais, fortalecendo modelos sustentáveis de produção e consumo (Sanahuja *et al.*, 2024).

PERSPECTIVAS FUTURAS

O crescente interesse por ingredientes naturais e processos produtivos sustentáveis tem impulsionado



novas pesquisas sobre o aproveitamento dos resíduos de abacaxi na indústria de alimentos. As evidências científicas acumuladas nos últimos anos indicam que esses subprodutos possuem potencial para se tornarem importantes fontes de compostos funcionais, contribuindo para a conservação dos alimentos e para o desenvolvimento de sistemas produtivos mais sustentáveis (Moreira *et al.*, 2022).

Uma das principais tendências futuras envolve o aprimoramento das técnicas de extração de compostos bioativos. Métodos considerados verdes, como extração assistida por ultrassom, fluidos pressurizados e solventes sustentáveis, têm sido estudados para aumentar o rendimento de compostos fenólicos e reduzir os impactos ambientais associados aos processos convencionais de extração (Maia; Fasolin, 2025).

A aplicação de resíduos de abacaxi em embalagens inteligentes e ativas constitui outra área promissora de pesquisa. O desenvolvimento de materiais capazes de monitorar alterações no alimento e, simultaneamente, exercer ação antimicrobiana e antioxidante poderá ampliar significativamente a vida útil dos produtos alimentícios e reduzir perdas ao longo da cadeia de distribuição (Fitriani *et al.*, 2020).

Outra perspectiva importante refere-se à incorporação desses resíduos em alimentos funcionais. A elevada concentração de fibras alimentares e compostos antioxidantes permite o desenvolvimento de novos produtos com propriedades nutricionais diferenciadas, atendendo à crescente demanda dos consumidores por alimentos saudáveis e com benefícios adicionais à saúde (Vargas-Vargas; Silva, 2025).

O avanço das tecnologias de bioprocessamento também deverá ampliar as possibilidades de utilização desses subprodutos. A conversão de resíduos em ingredientes de alto valor agregado por meio de fermentação controlada poderá contribuir para a produção sustentável de compostos bioativos destinados às indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética (Faria *et al.*, 2023).

Apesar dos avanços observados, ainda existem desafios relacionados à padronização da composição química dos resíduos. Fatores como variedade da fruta, condições de cultivo e processamento influenciam significativamente a concentração de compostos bioativos, tornando necessária a realização de estudos adicionais para garantir maior uniformidade e previsibilidade das aplicações industriais (Selvanathan; Masngut, 2023).

Do ponto de vista regulatório, espera-se que futuras pesquisas forneçam evidências suficientes para ampliar a aceitação de ingredientes derivados de resíduos agroindustriais em aplicações alimentícias. Estudos de toxicidade, estabilidade e eficácia

tecnológica serão fundamentais para consolidar a utilização desses compostos em larga escala pela indústria de alimentos (Tugen; Ulku, 2025).

Em síntese, as perspectivas futuras indicam que os resíduos de abacaxi deixarão de ser considerados apenas subprodutos do processamento industrial para assumirem papel estratégico na produção de ingredientes funcionais, embalagens sustentáveis e tecnologias inovadoras de conservação. O avanço da pesquisa científica e da bioeconomia circular deverá ampliar significativamente as possibilidades de aplicação desses materiais, contribuindo para sistemas alimentares mais seguros, eficientes e sustentáveis (Chaudhary; Singh, 2024).

CONCLUSÃO

A presente revisão crítica da literatura, abrangendo o período de 2015 a 2025, consolidou evidências científicas sobre o elevado potencial tecnológico e industrial dos resíduos derivados do processamento do abacaxi como estratégias viáveis para a conservação e promoção da segurança alimentar. Os estudos analisados demonstram de forma consistente que subprodutos frequentemente subutilizados, como cascas, talos, coroas e bagaços, constituem matrizes ricas em compostos bioativos de alto valor agregado, incluindo bromelina, ácidos fenólicos, ácidos orgânicos quelantes e pectinas com propriedades gelificantes diferenciadas.

Esses constituintes exercem atividades antioxidante e antimicrobiana multialvo, apresentando desempenho robusto no retardamento da oxidação lipídica e na inibição de microrganismos patogênicos e deteriorantes. As aplicações avaliadas evidenciam o sucesso desses extratos e frações fibrosas na conservação de produtos cárneos, lácteos e de panificação, bem como no desenvolvimento inovador de filmes e revestimentos biodegradáveis ativos, que despontam como substitutos sustentáveis aos aditivos químicos e polímeros sintéticos convencionais.

Os resíduos de abacaxi não apenas se consolidam como componentes estratégicos para sistemas alimentares mais seguros, eficientes e ecologicamente responsáveis, mas também se projetam como elementos-chave na transição global para modelos produtivos sustentáveis, capazes de alinhar inovação tecnológica, saúde pública e preservação ambiental.

Conclui-se, portanto, que o aproveitamento sistemático dessas biomassas atende diretamente aos preceitos da economia circular, da bioeconomia e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), transformando passivos ambientais agroindustriais em insumos funcionais. Contudo, a efetiva industrialização dessas tecnologias em larga escala ainda requer a superação de gargalos importantes, como a padronização da composição química



decorrente de variáveis agrônômicas e a consolidação de estudos regulatórios de toxicidade e estabilidade a longo prazo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos – PARA: relatório 2024. **Brasília: ANVISA**, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/agrotoxicos/programa-de-analise-de-residuos-de-agrotoxicos-em-alimentos-para>.

AZIZAN, K. A. *et al.* Potentially bioactive metabolites from pineapple waste extracts and their antioxidant and α -glucosidase inhibitory activities by ^1H NMR. **Foods**, Basel, v. 9, n. 2, p. 173, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods9020173>.

AZMI, S. M. *et al.* Application of plant proteases in meat tenderization: recent trends and future prospects. **Foods**, Basel, v. 12, n. 6, p. 1336, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods12061336>.

BRITO, T. B. N. *et al.* Utilization of agricultural by-products: bioactive properties and technological applications. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 60, n. 8, p. 1305–1329, 20 ago. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1804930>.

BRUCE, B. B; BOATENG, I. D. Pineapple by-products: a critical review of their bioactive compounds as eco-friendly pesticides in pest management. **Food Chemistry: X**, Amsterdam, v. 224, p. 120248, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102567>.

CAMPOS, D. A. *et al.* Integral valorization of pineapple (*Ananas comosus* L.) by-products through a green chemistry approach towards added value ingredients. **Foods**, Basel, v. 9, n. 1, p. 60, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods9010060>.

CHAUDHARY, S; SINGH, B. Aproveitamento de subprodutos do abacaxi: progresso rumo à economia circular. **Comida e Humanidade**, v. 2, 2024, artigo 100243. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100243>.

CIMINO, A. M. *et al.* Efeitos da exposição a pesticidas neonicotinoides na saúde humana: uma revisão sistemática. **Environmental Health Perspectives**, v. 125, n. 2, p. 155-162, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1289/EHP515>.

COMO, Y. H; NYAM, K. L. Reutilização de resíduos de frutas como potencial prebiótico para microrganismos probióticos ou de grau alimentício em aplicações alimentares: uma revisão. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, v. 17, n. 6, p. 4314-4339, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12602-024-10375-4>.

CRIZEL, T. M. *et al.* Evaluation of bioactive compounds, chemical and technological properties of fruits byproducts powder. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 11, p. 4067–4075, nov. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2413-7>.

DAMASCENO, K. A. *et al.* Desenvolvimento de barras de cereais contendo farinha de casca de abacaxi (*Ananas comosus* L. Merrill). **Revista de Qualidade Alimentar**, v. 39, p. 417–424, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfq.12222>.

DEKA, H. *et al.* Recent progress in the valorization of pineapple waste into value-added bioactive components: a systematic approach. **Current Research in Food Science and Technology**, v. 17, n. 2, p. 120–133, jul. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.34302/crpjfst/2025.17.2.8>.

DUARTE, K. S. *et al.* The circular economy approach for reducing food waste: a systematic review. **Revista Prática Docente**, v. 7, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.32358/rpd.2021.v7.572>.

FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO The State of Food Security and Nutrition in the World 2023: Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural–urban continuum. **Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cc3017en>.

FARIA, D. J. *et al.* Valorization of fermented food wastes and byproducts: bioactive and valuable compounds, bioproduct synthesis, and applications. **Fermentation**, v. 9, n. 10, p. 920, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/fermentation9100920>.

FITRIANI, F. *et al.* Properties of biocomposite film based on whey protein isolate filled with nanocrystalline cellulose from pineapple crown leaf. **Polymers**, [S. l.], v. 13, n. 24, p. 4278, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym13244278>.

GOND, P. *et al.* Desenvolvimento de um filme biodegradável a partir de resíduos de abacaxi como alternativa ao plástico convencional. **Revista com**



revisão por pares, v. 9, ed. esp. 12, parte P, p. 1366–1369, 2025. Disponível em:
<https://doi.org/10.33545/26174693.2025.v9.i12Sp.6717>.

HUANG, Y. L. *et al.* Preparation and physicochemical properties of fiber-rich fraction from pineapple peels as a potential ingredient. **Journal of Food and Drug Analysis**, Taipei, v. 19, n. 3, p. 318–323, 2011. Disponível em:
<https://doi.org/10.38212/2224-6614.2179>.

JATAV, J. *et al.* Assessment of antioxidant and antimicrobial property of polyphenol-rich chitosan-pineapple peel film. **Journal of Food Quality**, v. 2022, p. 1–10, 2022. Disponível em:
<https://doi.org/10.1155/2022/8064114>.

JATAV, N. K. *et al.* Chitosan film with pineapple peel extract in the extension of shelf life of Indian cottage cheese: release kinetics and bio-accessibility studies. **Food Research International**, Amsterdam, v. 173, e113419, 2023. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113580>.

KUMAR, V. *et al.* Bromelain: a review of its mechanisms, pharmacological effects and potential applications. **Food & Function**, London, v. 14, n. 11, p. 4871–4896, 2023. Disponível em:
<https://doi.org/10.1039/D3FO01060K>.

LASUNON, P. *et al.* Total phenolic compound and its antioxidant activity of by-product from pineapple. **Food Research**, v. 6, n. 4, p. 107–112, ago. 2022. Disponível em:
[https://doi.org/10.26656/fr.2017.6\(4\).453](https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(4).453).

LOURENÇO, A. S. C. *et al.* Natural antioxidants from pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.) byproducts stabilized by spray drying for food products. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia Alimentar) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.5/22907>.

MAHAJAN, A. *et al.* An integrated multi-criteria decision-making framework for the selection of sustainable biodegradable polymer for food packaging applications. **Environment, Development and Sustainability**, 2023. Disponível em:
<https://doi.org/10.1007/s10668-023-03052-z>.

MAIA, F. A.; FASOLIN, L. H. Recovery of bioactive compounds from pineapple waste through high-pressure technologies. **The Journal of Supercritical Fluids**, 2025. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2024.106455>.

MATEO, S. *et al.* Lignin from plant-based agro-industrial biowastes: from extraction to sustainable applications. **Polymers**, v. 17, n. 7, p. 952, 2025. Disponível em:
<https://doi.org/10.3390/polym17070952>.

MEENA, L. *et al.* Pineapple processing waste (PPW): bioactive compounds, their extraction, and utilisation: a review. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v. 59, n. 11, p. 4117–4130, 2021. Disponível em:
<https://doi.org/10.1007/s13197-021-05271-6>.

MEERASRI, J; SOTHORNVIT, R. Novel application of pineapple peel pectin extract film as active edible coating on quality of dried pineapple. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 58, n. 10, p. 5066–5077, 2023. Disponível em:
<https://doi.org/10.1111/ijfs.16605>.

MEHRAJ, S. *et al.* Nutritional composition and therapeutic potential of pineapple peel: a comprehensive review. **Chemistry & Biodiversity**, Weinheim, v. 21, n. 6, e202400315, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/cbdv.202400315>.

MGENI, S. T. *et al.* Potential contributions of pineapple waste to nutrition, medicine, bioenergy sources, and environmental conservation: a review. **Natural Product Communications**, v. 20, n. 3, p. 9, 2025. Disponível em:
<https://doi.org/10.1177/1934578X251348402>.

MOO-HUCHIN, V. M. *et al.* Determinação de algumas características físico-químicas, compostos bioativos e atividade antioxidante de frutas tropicais de Yucatán, México. **Food Chemistry**, v. 152, p. 508–515, 2013. Disponível em:
[10.1016/j.foodchem.2013.12.013](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.013).

MOREIRA, B. *et al.* Pineapple by-products as a source of bioactive compounds with potential for industrial food application. **Food and Function**, v. 19, 2022. Disponível em:
<https://doi.org/10.1039/D2FO00657J>.

NATH, P. C. *et al.* Recent advances in valorization of pineapple (*Ananas comosus*) processing waste and by-products: a step towards circular bioeconomy. **Trends in Food Science & Technology**, v. 136, p. 100–111, jun. 2023. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.04.008>.

NGUYEN, M. *et al.* Current status, challenges, and valorization strategies in pineapple processing waste management: a review. **International Journal of Scholarly Research in Biology and Pharmacy**, v.



6, n. 2, p. 11–21, 2025. Disponível em:
<https://doi.org/10.56781/ijrbp.2025.6.2.0027>.

NINJARANAI, P. Filmes de biopolímeros à base de quitosana e polietilenoglicol com fibra de folha de abacaxi para aplicações em embalagens de alimentos. **Macromolecular Symposia**, 2015. Disponível em:
<https://doi.org/10.1002/masy.201400090>.

NOGUEIRA, T. B. B. *et al.* Transforming waste into a bioactive resource: phenolic profile, antioxidant, and antimutagenic properties of pineapple (*Ananas comosus*) crown infusion. **Future Foods**, Amsterdam, v. 11, p. 100530, 2025. Disponível em:
<https://doi.org/10.1039/D5FB00445D>.

NOGUEIRA, T. B. de B. *et al.* The pineapple crown (*Ananas comosus*): from agro-waste to functional ingredient and material. **ACS Food Science and Technology**, Washington, 2025. Disponível em:
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsfoodscitech.5c00750>.

OLIVER-SIMANCAS, R. *et al.* Valorization applications of pineapple byproducts in food industry. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 23, n. 3, e13359, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13359>.

PACHECO, N. I. *et al.* Characterization of pineapple and its peel as a functional food: narrative review. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26840>.

PATRA, A. *et al.* Review on the extraction of bioactive compounds and characterization of fruit industry by-products. **BioResources**, v. 9, art. 14, 18 fev. 2022. Disponível em:
<https://doi.org/10.1007/s12155-022-10014-3>.

PAZ-ARTEAGA, S. L. *et al.* Bioprocessing of pineapple waste for sustainable production of bioactive compounds using solid-state fermentation. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 85, p. 103313, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103313>.

POLANIA, A. M. *et al.* Bioprocessing of pineapple waste biomass for sustainable production of bioactive compounds with high antioxidant activity. **Journal of Food Measurement and Characterization**, Heidelberg, v. 16, p. 4756–4768, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01627-4>.

SAH, B. N. P. *et al.* Effect of pineapple waste powder on probiotic growth, antioxidant and

antimutagenic activities of yogurt. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v. 53, n. 3, p. 1760–1769, 2015. Disponível em:
<https://doi.org/10.1007/s13197-015-2100-0>.

SAH, B. N. P. *et al.* Physicochemical, textural and rheological properties of probiotic yogurt fortified with fibre-rich pineapple peel powder during refrigerated storage. **LWT – Food Science and Technology**, v. 73, p. 233–241, 2016. Disponível em: [10.1016/j.lwt.2015.09.027](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.09.027).

SANAHUJA, A. B. *et al.* Valorization of pineapple core waste for sequential extraction of phenolic compounds and carotenoids: optimization through ultrasound-assisted method and Box–Behnken design. **Food and Bioprocess Technology**, v. 18, p. 2618–2631, 2025. Disponível em:
<https://doi.org/10.1007/s11947-024-03245-3>.

SARANGI, P. K. *et al.* Sustainable utilization of pineapple wastes for production of bioenergy, biochemicals and value-added products: a review. **Bioresource Technology**, 2022. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127397>.

SELVANATHAN, Y.; MASNGUT, N. Otimização de fatores de processo e caracterização da produção de bebidas semelhantes ao vinagre via fermentação espontânea a partir de resíduos de casca de abacaxi. **LWT - Food Science and Technology**, v. 182, n. 1, p. 114818, 2023. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/J.LWT.2023.114818>.

SHIVAMATH, C. S. *et al.* Process optimization and characterization of pectin derived from underexploited pineapple peel biowaste as a value-added product. **Food Hydrocolloids**, Amsterdam, v. 120, p. 106919, 2022. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107141>.

TRÊS, M. *et al.* Produção de nanofibras de celulose a partir da casca do abacaxi (*Ananas comosus*) e sua aplicação em filmes biodegradáveis. **Tecnologia e Ciência de Embalagens**, v. 38, n. 2, p. 117–129, 2024. Disponível em:
<https://doi.org/10.1002/pts.2860>.

TSEGAY, Z. T. *et al.* Toxicological qualities and detoxification trends of fruit by-products for valorization: A review. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 16, p. 101188, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/biol-2025-1105>.

TUGEN, A; ULKU, O. T. Recent innovations and novel technologies for the upcycling of bioactive compounds from food wastes. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 43, n. 6, p. 377–397, 2025.



Disponível em: <https://doi.org/10.17221/122/2025-CJFS>.

VARGAS-VARGAS, M. A; SILVA, A. J. Comprehensive valorization of pineapple cultivation residues for high-value products: a global perspective review. **Revista Acadêmica Arjé**, v. 8, n. 1, p. 1–54, jun. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.47633/zhp44522>.

VERNI, M; CASANOVA, F. The potential of food by-products: bioprocessing, bioactive compounds extraction and functional ingredients utilization. **Foods**, v. 11, n. 24, p. 4092, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods11244092>.

ZHAO, L. *et al.* Compostos fenólicos naturais como antimicrobianos multialvo para a conservação de alimentos: mecanismos de ação. **Food Chemistry: X**, v. 31, e103056, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.103056>.