



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



TACIANA CICONELLE NOGUEIRA

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO DE FRUTAS CÍTRICAS
E ÁCIDAS: UMA ABORDAGEM BIBLIOGRÁFICA

Uberlândia

2025

TACIANA CICONELLE NOGUEIRA

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO DE FRUTAS CÍTRICAS
E ÁCIDAS: UMA ABORDAGEM BIBLIOGRÁFICA

Projeto Final de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.

Orientador(a): Prof. Dr. Neiton Carlos da Silva

Uberlândia

2025

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me dar a vida e pela força que me proporcionou para continuar a graduação, mesmo quando eu achava que seria impossível concluir essa etapa.

Minha perseverança e resiliência foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

Sou extremamente grata à minha avó Nylza e aos meus pais, Mariano e Erica, que sempre acreditaram em mim e me apoiaram incondicionalmente. Eles nunca deixaram que eu desistisse, sempre me incentivando a acreditar na minha capacidade.

Agradeço também à empresa ADM do Brasil e especialmente aos meus antigos gestores Marcelle e Shinobe, com quem tive o privilégio de trabalhar durante meus estágios supervisionados. Com o apoio e ensinamento deles, aprendi muito e me desenvolvi tanto profissional quanto pessoalmente.

Ao meu namorado Gabriel, expresso minha profunda gratidão por todo o apoio, paciência e compreensão ao longo dessa jornada. Sua presença e encorajamento foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

Por fim, agradeço ao meu orientador, Professor Neiton, com quem tive o privilégio de trabalhar no meu primeiro projeto de extensão dentro da universidade, AICHe, e agora no meu trabalho de conclusão de curso. Seus conselhos, apoio e confiança foram fundamentais para o meu crescimento.

Aos membros da banca, pelas valiosas contribuições e tempo dispensado.

Muito obrigada!

“Só se pode alcançar um grande êxito quando nos
mantemos fiéis a nós mesmos.”
(NIETZSCHE, 2010)

RESUMO

Os resíduos gerados pelo processamento de frutas cítricas e ácidas representam uma fração significativa dos resíduos agroindustriais produzidos globalmente. A indústria alimentícia, especialmente durante a produção de sucos, polpas, óleos e outros derivados, é a principal responsável pela geração desses resíduos, que incluem cascas, bagaço e sementes. Estima-se que mais da metade da massa das frutas cítricas processadas seja descartada como subproduto. No entanto, esses materiais são fontes valiosas de compostos de alto valor agregado, como fibras alimentares, óleos essenciais, flavonoides, antioxidantes, carotenoides, pectina e outros constituintes bioativos com reconhecido potencial funcional e econômico. Apesar de sua riqueza nutricional e funcional, esses resíduos ainda são, em grande parte, descartados em aterros sanitários, utilizados para alimentação animal de forma não controlada ou destinados à compostagem, práticas que não aproveitam integralmente seu potencial. Nesse contexto, cresce o interesse científico e industrial pela valorização desses resíduos, inserindo-os em cadeias produtivas sustentáveis por meio da economia circular, da biotecnologia e da inovação em processos. Diante disso, esta revisão teve como objetivo analisar, por meio de um levantamento bibliográfico dos últimos 25 anos, as possibilidades de aproveitamento e valorização dos resíduos oriundos do processamento de frutas cítricas e ácidas. Para isso, foram utilizadas as plataformas Web of Science, Science Direct, Google Acadêmico e Periódicos Capes, com a aplicação de palavras-chave específicas e filtros temáticos e temporais. A busca resultou em 100 artigos relevantes, os quais foram analisados e organizados com o auxílio das ferramentas das plataformas, possibilitando a categorização dos principais temas abordados. As principais formas de reaproveitamento identificadas incluíram consumo animal, adição em alimentos para consumo humano, extração de compostos bioativos, geração de energia e uso como base para corantes, tintas e bioplásticos. Os resultados evidenciaram o potencial promissor desses resíduos como matéria-prima para o desenvolvimento de novos produtos sustentáveis.

Palavras-chave: economia circular; sustentabilidade; compostos bioativos; bioprodutos; citricultura; subprodutos alimentares; inovação sustentável.

ABSTRACT

The waste generated from citrus and acid fruits processing represents a significant fraction of agro-industrial residues produced globally. The food industry, particularly during the production of juices, pulps, essential oils and other derivatives, is mainly responsible for generating these wastes, which include peels, bagasse, and seeds. It is estimated that more than half of the mass of processed citrus fruits is discarded as by-products. However, these materials are rich sources of high-value compounds such as dietary fibers, essential oils, flavonoids, antioxidants, carotenoids, pectin and other bioactive constituents with well-recognized functional and economic potential. Despite their nutritional and functional richness, these wastes are still largely disposed of in landfills, used for animal feed in an unregulated manner, or destined for composting, practices that do not fully exploit their potential. In this context, there is growing scientific and industrial interest in the valorization of these wastes by integrating them into sustainable production chains through circular economy strategies, biotechnology, and process innovation. Therefore, this review aims to analyze the possibilities for utilizing and recovering citrus and acid fruits processing residues through a bibliographic survey covering the last 25 years.. The databases Web of Science, Science Direct, Google Scholar and Periódicos Capes were used, with the application of specific keywords and thematic and temporal filters. The search resulted in 100 relevant articles, which were analyzed and organized using platform-specific tools, allowing the categorization of the main topics addressed. The main forms of reuse identified include animal feed, incorporation into food products for human consumption, extraction of bioactive compounds, energy generation, and use as raw material for dyes, paints and bioplastics. The results highlighted the promising potential of these residues as raw materials for the development of new sustainable products.

Keywords: *circular economy; sustainability; bioactive compounds; bioproducts; citrus farming; food by-products; sustainable innovation.*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. OBJETIVOS.....	8
3. METODOLOGIA.....	8
4. REVISÃO DE LITERATURA	9
4.1. FRUTICULTURA NO BRASIL: PANORAMA DO MERCADO E GERAÇÃO DE RESÍDUOS.....	10
4.2. IMPACTOS AMBIENTAIS E PERSPECTIVAS SOCIOECONÔMICAS DO REAPROVEITAMENTO	12
4.3. COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DAS FRUTAS CÍTRICAS E ÁCIDAS	13
4.3.1. ABACAXI	13
4.3.2. ACEROLA	14
4.3.3. LARANJA	15
4.3.4. LIMÃO	16
4.3.5. MARACUJÁ	17
4.3.6. TANGERINA	18
4.4. POTENCIAL BIOATIVO E NUTRICIONAL DOS RESÍDUOS	20
4.4.1. PODER CALORÍFICO	20
4.4.2. COMPOSTOS FENÓLICOS	21
4.4.3. TERPENÓIDES	21
4.4.4. ÁCIDO ASCÓRBICO.....	22
4.4.5. ÁCIDO CÍTRICO.....	22
4.4.6. FIBRAS E PROTEÍNAS	23
4.4.7. MINERAIS	24
4.5. APLICAÇÕES E INOVAÇÕES NO PROCESSAMENTO DE SUBPRODUTOS....	24
4.5.1. CONSUMO ANIMAL	24
4.5.2. CONSUMO HUMANO	29
4.5.3. EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS	34
4.5.4. GERAÇÃO DE ENERGIA	43
4.5.5. OUTRAS APLICAÇÕES.....	46
5. CONCLUSÃO.....	51
6. REFERÊNCIAS.....	52

1. INTRODUÇÃO

A economia sustentável é um novo paradigma que busca conciliar o crescimento econômico com a preservação dos recursos naturais, incentivando práticas sustentáveis que envolvem a recuperação de resíduos e desperdícios, promovendo inovação em produtos, processos e modelos de negócio (Leitão, 2015). Segundo Schneider (2014), essa abordagem visa não apenas a redução da demanda por recursos naturais, mas também a contribuição para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), ao integrar aspectos econômicos e ambientais.

No setor produtivo, especialmente nas indústrias, torna-se imprescindível repensar o destino dos resíduos gerados, transformando-os em novos produtos que agreguem valor à empresa e contribuam para a redução dos impactos ambientais (Filho et al., 2017). No processamento de frutas, um setor que gera grandes volumes de resíduos orgânicos ou biomassa, essa prática é particularmente relevante, uma vez que esses materiais possuem grande potencial de reaproveitamento (Vaz Junior, 2020).

Estudos indicam que a produção de sucos e polpas pode gerar entre 30% e 40% de resíduos agroindustriais (Filho et al., 2015). Esses resíduos correspondem a milhares de toneladas descartadas anualmente e, muitas vezes, são ricas fontes de compostos bioativos. A composição varia conforme a fruta processada, podendo conter cascas, sementes e polpas residuais, todas elas com potencial nutritivo e funcional, como vitaminas, fibras, antioxidantes e outros nutrientes essenciais. Ainda assim, tais elementos continuam sendo negligenciados e descartados de forma inadequada por grande parte das indústrias (Filho et al., 2015). Diante de um cenário global em que milhões de pessoas vivem em situação de insegurança alimentar e nutricional, é inaceitável que alimentos em potencial, ou mesmo matérias-primas para novos produtos, continuem sendo desperdiçados (Moretti et al., 2006).

Os resíduos das frutas cítricas e ácidas, como abacaxi, acerola, laranja, limão, maracujá e tangerina, ricos em pectina, flavonoides e óleos essenciais, são frequentemente descartados, mas oferecem alto valor agregado para as indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética. Diante deste cenário, este trabalho visa estudar as possibilidades de reaproveitamento dos resíduos industriais, com foco nas indústrias de processamento de frutas.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi analisar, por meio de um estudo bibliográfico, as diversas aplicações dos resíduos gerados pelas indústrias de processamento de frutas cítricas e ácidas, com foco na crescente preocupação ambiental e nas oportunidades de aproveitamento desses subprodutos no mercado. Em relação aos objetivos específicos, enfatizam-se:

- apresentar um panorama da fruticultura no Brasil, com ênfase na produção de frutas cítricas e ácidas, e na geração de resíduos decorrentes do seu processamento industrial;
- descrever a composição físico-química e a estrutura das principais frutas cítricas e ácidas, com foco nos elementos presentes em seus resíduos;
- investigar o potencial bioativo e nutricional dos resíduos cítricos, evidenciando compostos como fibras, antioxidantes, fenólicos e óleos essenciais;
- identificar as principais aplicações industriais e inovações tecnológicas relacionadas ao reaproveitamento desses subprodutos, considerando as áreas alimentícia, energética, farmacêutica e de nutrição animal.

3. METODOLOGIA

Foram utilizadas as bases de dados *Web of Science*, *Science Direct*, Google Acadêmico e Portal de Periódicos da CAPES para a realização da pesquisa bibliográfica voltada à identificação e análise de artigos científicos e revisões sistemáticas sobre a aplicação de resíduos provenientes do processamento de frutas cítricas e ácidas. O levantamento teve como objetivo reunir informações relevantes e atualizadas sobre as diversas formas de aproveitamento desses subprodutos, com foco em soluções sustentáveis e de valor agregado. Para isso, foram selecionadas palavras-chave, tanto em inglês quanto em português, de forma a ampliar o alcance da busca e garantir maior diversidade de fontes. As palavras-chave utilizadas incluíram: “*Agro-industrial waste*”, “*Residues utilization*”, “*Bioactive compounds*”, “*Bioproducts*”, “*Citrus and acid fruits*”, “*By-products*”, “*Sustainable*”, bem como seus equivalentes em português: “Resíduos agroindustriais”, “Aproveitamento de resíduos”, “Compostos bioativos”, “Bioprodutos”, “Frutas cítricas e ácidas”, “Subprodutos” e “Sustentável”.

A combinação entre os termos foi ajustada conforme os critérios de busca de cada base consultada, utilizando operadores booleanos para refinar os resultados. As pesquisas

concentraram-se em seis frutas cítricas e ácidas, representadas na Figura 1, de maior relevância agroindustrial e recorrência nos artigos encontrados: laranja, limão, abacaxi, tangerina, maracujá e acerola. A escolha dessas espécies se baseou na sua expressiva produção, potencial de geração de resíduos e presença frequente na literatura científica analisada. Foram selecionados artigos publicados período de 2000 a 2025, com prioridade para publicações revisadas por pares, de acesso completo e com aplicabilidade prática. A revisão abrangeu diferentes áreas do conhecimento, refletindo a abordagem interdisciplinar do tema. Entre os principais campos envolvidos, destacam-se: ciência e tecnologia de alimentos, engenharia, biotecnologia, agricultura, energia, ciências ambientais, nutrição, ciência dos materiais e ciências veterinárias. Essa diversidade evidencia o crescente interesse científico na valorização dos resíduos cítricos e suas múltiplas aplicações.

Figura 1 - Representação das frutas cítricas abordadas neste trabalho.



Fonte: O autor (2025).

4. REVISÃO DE LITERATURA

Este tópico apresenta uma revisão bibliográfica sobre os temas centrais deste trabalho, abordando o panorama da fruticultura no Brasil, com foco na produção de frutas cítricas e ácidas e, conseqüentemente, na geração de seus resíduos. A partir de uma análise de diversos autores, discutiu-se a relevância do aproveitamento desses resíduos, destacando suas funcionalidades e a importância de sua valorização. Por fim, foram abordadas as principais formas de aproveitamento e as diferentes aplicações tecnológicas desses subprodutos.

4.1. Fruticultura no Brasil: panorama do mercado e geração de resíduos

A Organização das Nações Unidas Para a Alimentação e a Agricultura (FAO) estima que a produção global de desperdício alimentar atinja cerca de 1,6 bilhões de toneladas por ano, considerando "equivalentes de produto primário", dos quais 1,3 bilhões de toneladas correspondem à parte comestível (FAO, 2024). As frutas representam 20% dos resíduos alimentares globais, com desperdício de 20–25% em países desenvolvidos e 40–50% em países em desenvolvimento, causado por falhas logísticas e infraestrutura, sendo que um terço dos alimentos destinados ao consumo humano são desperdiçados, seja como resíduos, do processamento ou da perda na cadeia produtiva (Filho et al., 2017).

A produção de sucos e polpas gera entre 30% e 40% de resíduos agroindustriais, resultando em toneladas de biomassa rica em compostos bioativos. Esses resíduos, que incluem cascas, sementes e polpa, são fontes de vitaminas, fibras e antioxidantes, mas ainda são subutilizados pela indústria (Filho et al., 2015; Kowalska et al., 2017). No entanto, seu aproveitamento tem sido estudado para aplicação em setores como a indústria alimentícia, farmacêutica e cosmética, destacando-se o uso de fibras na formulação de alimentos funcionais e antioxidantes naturais para conservação de produtos (Silva et al., 2019).

Segundo a Abrafrutas (2023), com base em dados do IBGE, a produção de frutas em 2023 alcançou 43 milhões de toneladas. Os resíduos biológicos de frutas contêm fibras e fitoquímicos ativos de grande importância biológica, mas ainda pouco aproveitados. Sua utilização adequada, como na produção de rações, fertilizantes, incineração ou descarte controlado, é crucial para mitigar impactos ecológicos e evitar a perda de nutrientes valiosos para diversos setores. Estratégias de gerenciamento eficientes devem ser desenvolvidas para aproveitar melhor esses resíduos, como a recuperação de fitoquímicos e compostos bioativos (Babbar et al., 2015), os quais concentram antioxidantes naturais, como vitaminas, fibras e flavonoides, fundamentais para a saúde. Globalmente, estima-se que 25%–50% das frutas sejam perdidas antes de chegarem aos consumidores, configurando perdas pós-colheita, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1- Porcentagem de resíduos gerados por culturas frutíferas adaptada (IBGE, 2023).

(continua)

Nome comum	Nome científico	% desperdício	Parte residual
Amora	<i>Rubus fruticosus</i>	25,0%–35,0%	Folhagem; caule; bagaço
Carambola	<i>Averrhoa carambola</i>	30,0%–35,0%	Casca; resíduo de polpa
Uva	<i>Vitis vinífera</i>	20,0%–30,0%	Bagaço; caule

Tabela 2- Porcentagem de resíduos gerados por culturas frutíferas adaptada (IBGE, 2023).

(continuação)

Nome comum	Nome científico	% desperdício	Parte residual
Jabuticaba	<i>Plinia cauliflora</i>	30,0%–35,0%	Sementes; casca
Kiwi	<i>Actinidia deliciosa</i>	25,0%–30,0%	Casca; resíduo de polpa
Limão	<i>Citrus limão</i>	20,0%–25,0%	Casca; polpa
Laranja	<i>Citrus sinensis</i>	35,0%–5,0%	Casca; polpa; sementes
Maracujá	<i>Passiflora edulis</i>	30,0%–35,0%	Casca; resíduo de polpa
Abacaxi	<i>Ananas comosus</i>	20,0%–25,0%	Casca; folhagem da coroa
Ameixa	<i>Prunus domestica</i>	20,0%–25,0%	Caroços; casca
Romã	<i>Punica granatum</i>	30,0%–40,0%	Casca; sementes
Framboesa	<i>Rubus idaeus</i>	25,0%–35,0%	Folhagem; caule; bagaço
Morango	<i>Fragaria x ananassa</i>	30,0%–35,0%	Topos; cascos
Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i>	40,0%–50,0%	Vagens; sementes
Tangerina	<i>Citrus reticulata</i>	25,0%–30,0%	Casca; resíduo de polpa

As frutas cítricas, originárias da Ásia, foram introduzidas no Brasil pelas primeiras expedições colonizadoras, provavelmente na Bahia. A citricultura começou a ser comercialmente implantada na década de 1930 nos estados da Bahia, São Paulo e Rio de Janeiro, expandindo-se por todo o país devido à boa adaptação das plantas ao clima e solo (Fernandes, 2022). Segundo Lopes et al. (2011), os principais citros cultivados no Brasil são laranjeiras, tangerineiras, limeiras ácidas e limões verdadeiros.

O Brasil ocupa a segunda posição mundial entre os maiores produtores de citros, representando 12% da produção global, conforme o relatório “*Citrus World Statistics*”. No cenário de frutas cítricas específicas, o país lidera a produção de laranjas, com 7,55 milhões de toneladas, cerca de 10% da produção mundial, e ocupa o segundo lugar na produção de limões, com 1,5 milhão de toneladas, além de também ser o segundo maior exportador no ano de 2022. Mesmo diante da pandemia de Covid-19, o mercado brasileiro de citros se manteve sólido, com aumento na produtividade e nos lucros, impulsionado pela crescente demanda por frutas que fortalecem a imunidade e a saúde, o que resultou no fortalecimento do setor (Cavalcante et al., 2021).

Frutas como abacaxi (*Ananas comosus*), maracujá (*Passiflora edulis*) e acerola (*Malpighia glabra*) são amplamente consumidas no Brasil, destacando-se por suas características organolépticas e composição nutricional. O abacaxi é reconhecido por seu sabor

doce-acidulado, sendo uma excelente fonte de vitamina C, fibras alimentares e bromelina, uma enzima com propriedades digestivas e anti-inflamatórias (RRPolpas, 2016). A acerola destaca-se por seu altíssimo teor de vitamina C, superando em até 80 vezes o conteúdo presente em laranjas e limões, além de conter antocianinas e compostos fenólicos com potenciais propriedades antioxidantes (Agência Paulista, 2007). Embora não pertençam à família Rutaceae, essas frutas são classificadas como ácidas devido ao perfil sensorial e composição química. O aproveitamento de suas partes não comestíveis, como cascas e sementes, tem ganhado destaque por seu potencial em processos industriais e biotecnológicos (Sousa et al., 2011).

4.2. Impactos ambientais e perspectivas socioeconômicas do reaproveitamento

O agronegócio e a atividade industrial geram um volume significativo de resíduos prejudiciais ao ambiente, tornando essencial a preservação dos recursos naturais para garantir a qualidade de vida no planeta (Gomes, 2019). A preservação envolve evitar o desperdício e mudar o comportamento humano para reduzir a geração de resíduos nos processos de produção (Leandro-Silva et al., 2020).

Dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) mostram que resíduos orgânicos representam cerca de 50% do total de resíduos sólidos gerados globalmente, reforçando a necessidade de manejo adequado (FAO, 2013). Além disso, o descarte inadequado de alimentos no solo causa impactos ambientais irreversíveis, como odor pela putrefação e contaminação de rios e lençóis freáticos por chorume. Para alcançar um equilíbrio ecológico, é necessário reduzir o desperdício orgânico e mitigar os impactos ambientais associados (Luiz et al., 2019).

A utilização sustentável do alimento traz vantagens, como a redução da produção de lixo orgânico, aumento da vida útil do alimento, promoção da segurança alimentar e contribuição para o aumento da renda familiar (Dias et al., 2020). A crescente preocupação com o meio ambiente tem levado ao desenvolvimento de estratégias para minimizar o impacto ambiental, viabilizando projetos que destacam a sustentabilidade nos sistemas de produção industrial. Isso é particularmente relevante na indústria alimentícia, que gera resíduos com alto potencial de reutilização (Damiani et al., 2020).

Em um mundo integrado, o qual ainda possui grande parte da população em situação de subalimentação e subnutrição, é inadmissível que as indústrias continuem descartando um resíduo de potencial alimentício e de matéria-prima para outros alimentos (Moretti, et al. 2006).

As perdas de alimentos comprometem a sustentabilidade dos sistemas alimentares, causando desperdício de recursos, privando comunidades de alimentos saudáveis e colocando em risco a segurança alimentar e o meio ambiente (Bancal; Ray, 2022).

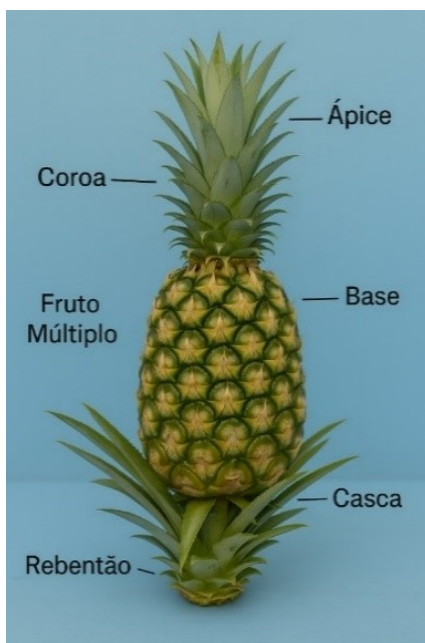
4.3. Composição e estrutura das frutas cítricas e ácidas

4.3.1. Abacaxi

O abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merril) é uma fruta tropical pertencente à família *Bromeliaceae*, caracterizada por sua polpa suculenta, aroma marcante e elevado teor de açúcares e ácidos orgânicos. Sua estrutura morfológica é complexa, resultante do desenvolvimento de uma infrutescência, composta pela fusão de múltiplas flores, o que confere à fruta seu aspecto segmentado e robusto (Vicente et al., 2023).

Anatomicamente, conforme representado pela Figura 2, o abacaxi é formado por todas essas partes, porém destacando-se quatro partes: a coroa, o fruto (ou parte comestível), a casca, e o miolo (eixo central fibroso). Em geral, apenas a polpa é consumida *in natura* ou utilizada na indústria de alimentos, enquanto a coroa, a casca e o miolo são descartados durante o processamento, representando uma fração significativa do resíduo gerado. Estima-se que essas partes não comestíveis correspondam a cerca de 35 a 45% da massa total do fruto (Junior, 2020).

Figura 2 - Estrutura do abacaxi.



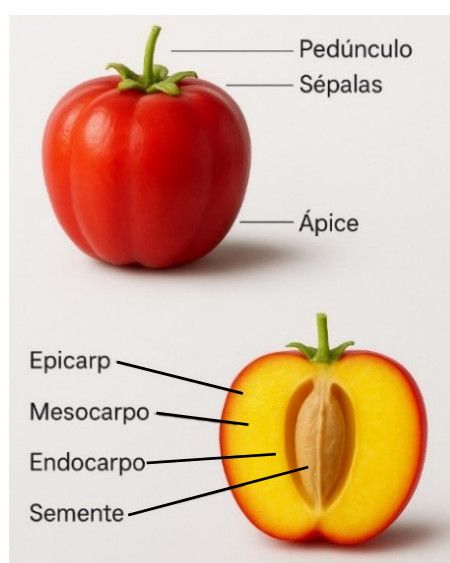
Fonte: Adaptado de Vilar (2023).

Resíduos do abacaxi, como a casca, composta por tecido epidérmico espesso, estruturas espinhosas (acúleos), restos florais e estruturas lignificadas, e o miolo, com alta concentração de celulose, hemicelulose e lignina, apresentam elevado potencial biotecnológico, apesar de serem pouco palatáveis e comumente descartados. Esses subprodutos possuem valor agregado e aplicabilidade na produção de compostos bioativos, biocombustíveis, fertilizantes e alimentos funcionais, contribuindo para a mitigação de impactos ambientais e a promoção da economia circular (Lima et al., 2022).

4.3.2. Acerola

A acerola (*Malpighia emarginata* D.C.), também conhecida como cereja-das-antilhas, é originária das Ilhas do Caribe, América Central e México. Sua chegada ao Brasil é atribuída, segundo Barboza et al. (2006), a uma iniciativa da professora Maria Celene Cardoso de Almeida, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, que trouxe sementes de Porto Rico em 1955, dando início à sua disseminação no Nordeste e em outras regiões do país. Destaca-se pelo alto teor de vitamina C, que pode chegar a até 4.000 mg por 100 g de polpa, além de compostos fenólicos, carotenoides e fibras alimentares (Macêdo et al., 2025). Sua estrutura, representada pela Figura 3, é composta por epicarpo (casca), mesocarpo (polpa) e endocarpo (semente). Durante o processamento industrial para obtenção de sucos, polpas ou extratos, uma grande parte da fruta é descartada como resíduo agroindustrial, sobretudo as cascas e sementes.

Figura 3 - Estrutura da acerola.



Fonte: Adaptado de CDZ Tecnologia (2018).

Devido à sua propagação inicial por sementes, os pomares comerciais no Brasil apresentam uma significativa variabilidade genética. Essa variação se reflete em diferentes características das plantas e frutos, como forma, tamanho, cor e sabor, além de fatores relacionados à qualidade da polpa, como o teor de ácido ascórbico (vitamina C), que pode variar entre 2500 a 4500 mg/100g, tornando a acerola um dos frutos com maior concentração dessa vitamina, além de conter vitaminas A, ferro, cálcio e antocianinas, compostos com propriedades antioxidantes interessantes (Silva, 2014; Agostini-Costa, 2003).

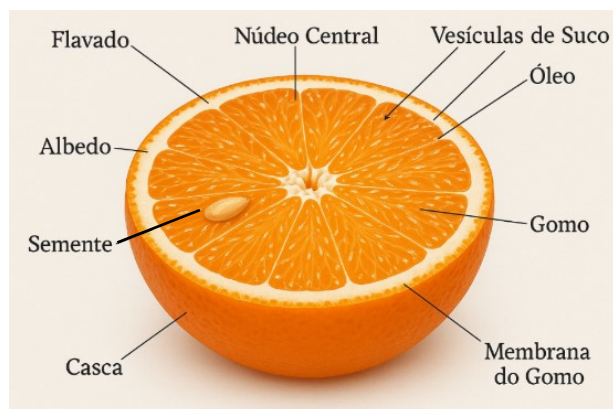
Os resíduos do processamento da acerola representam cerca de 40 a 50% da massa total do fruto (Magalhães et al., 2021) e, embora frequentemente desprezados, são ricos em nutrientes e compostos bioativos. A casca, por exemplo, contém fibras dietéticas insolúveis, polifenóis e pigmentos antioxidantes. Já as sementes, embora mais lignificadas e menos exploradas, apresentam traços de lipídios, proteínas e compostos fenólicos com potencial antioxidante e antimicrobiano (Macêdo et al., 2023).

O aproveitamento desses resíduos tem sido objeto de pesquisas que visam promover o uso integral da fruta e reduzir impactos ambientais. Entre as alternativas estudadas estão a produção de farinhas funcionais, suplementos alimentares, conservantes naturais e matérias-primas para compostagem ou biocombustíveis, contribuindo assim para práticas mais sustentáveis na agroindústria (Prado, 2022).

4.3.3. Laranja

A laranja (*Citrus sinensis*) é uma fruta cítrica amplamente cultivada no Brasil, sendo o país o maior produtor mundial. Sua estrutura é composta principalmente por casca (epicarpo e mesocarpo), gomo (endocarpo) e sementes, conforme apresentado pela Figura 4. Durante o processamento industrial, principalmente na produção de sucos, uma parcela significativa da fruta é descartada como resíduo, podendo representar entre 50% e 60% da massa total (Fapesp, 2023).

Figura 4 - Estrutura da laranja.



Fonte: Adaptado de Redd, Hendrix e Hendrix (1986).

A casca, formada pelo flavedo (parte externa colorida) e pelo albedo (parte branca interna), representa cerca de 40% do peso da fruta e é rica em fibras, flavonoides, óleos essenciais como o D-limoneno e pectina, uma fibra solúvel com valor funcional e tecnológico na indústria alimentícia (Unicamp, 2023). Já a polpa e as sementes, que compõem o bagaço após a extração do suco, contêm elevada quantidade de fibras insolúveis, açúcares residuais, proteínas e compostos bioativos (Mitsuhara; Moraes; Crestani, 2023).

Do ponto de vista químico, o bagaço da laranja apresenta em sua composição, em base seca, cerca de 33,1% de celulose, 5,4% de hemicelulose e 2,9% de lignina, o que reforça seu potencial para uso em aplicações biotecnológicas, como produção de biogás, pectina, enzimas e biocombustíveis (Mitsuhara; Moraes; Crestani, 2023; Vieira, 2020). Além disso, os resíduos podem ser aproveitados na formulação de suplementos alimentares e cosméticos, agregando valor à cadeia produtiva e reduzindo o impacto ambiental do descarte (Globo Rural, 2022).

4.3.4. Limão

O limão (*Citrus spp.*), amplamente cultivado no Brasil, é uma fruta cítrica composta por três partes principais: casca (epicarpo e mesocarpo), gomo (endocarpo) e sementes. Durante o processamento industrial, especialmente na produção de sucos, uma significativa parte da fruta é descartada como resíduo, representando cerca de 50% a 60% da massa total do fruto (Silveira, 2019).

A casca do limão é dividida em duas camadas: o flavedo (parte externa colorida) e o albedo (parte interna branca), apresentadas na Figura 5. O flavedo é rico em óleos essenciais, carotenoides e compostos fenólicos, enquanto o albedo contém fibras dietéticas, pectina e

vitamina C. Estudos indicam que essas partes da casca possuem alto potencial antioxidante e podem ser aproveitadas na indústria alimentícia e farmacêutica (Silveira, 2019).

Figura 5 - Estrutura do limão.



Fonte: Adaptado de Rodrigues (2019).

Após a extração do suco, a polpa e as sementes restantes constituem o bagaço. Este resíduo é rico em fibras, açúcares solúveis, proteínas e outros compostos de interesse industrial. As sementes, por sua vez, contêm óleos com alto teor de ácidos graxos insaturados, como o linoleico e o oléico, além de compostos bioativos com propriedades antioxidantes (Reda et al., 2005).

Os resíduos do limão possuem grande potencial para aproveitamento industrial. Da casca pode-se extrair pectina, utilizada como agente gelificante na indústria alimentícia, e óleos essenciais, empregados na produção de aromatizantes, cosméticos e produtos de limpeza. As sementes podem ser fonte de óleos comestíveis de boa qualidade. Além disso, os resíduos podem ser utilizados na produção de biogás, contribuindo para a geração de energia renovável. A valorização desses resíduos não apenas agrega valor econômico, mas também contribui para a sustentabilidade ambiental, reduzindo o volume de resíduos descartados e promovendo a economia circular (Reda et al., 2005; Silveira, 2019).

4.3.5. Maracujá

O maracujá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) é uma fruta tropical amplamente cultivada no Brasil, sendo o país o maior produtor mundial. A estrutura do maracujá é composta principalmente por casca (pericarpo), polpa (arilos) e sementes, como evidenciado na Figura 6. Durante o processamento industrial, especialmente na produção de sucos, uma significativa

parte da fruta é descartada como resíduo, representando cerca de 66% da massa total do fruto (Fogagnoli; Seravalli, 2014).

Figura 6 – Estrutura do maracujá.



Fonte: Adaptado de Vilela (2024).

A casca do maracujá é composta por duas camadas: o flavedo (parte externa colorida) e o albedo (parte interna branca esponjosa). O albedo é rico em pectina, sendo utilizado na indústria alimentícia para a produção de geleias e outros produtos. Estudos indicam que a casca representa aproximadamente 52% do peso do fruto (Fogagnoli; Seravalli, 2014).

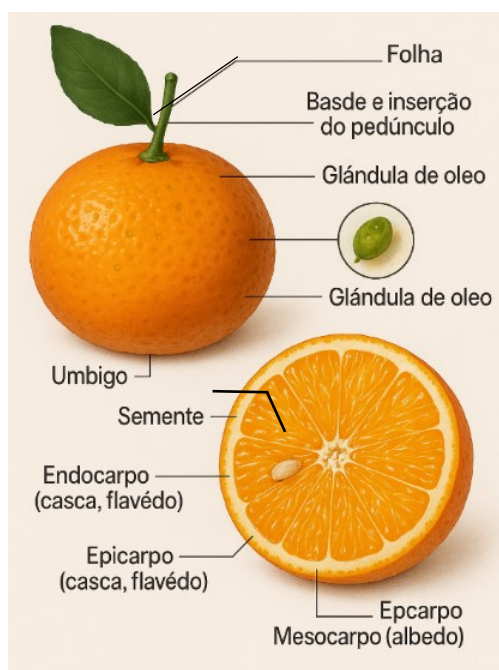
Os resíduos do maracujá possuem grande potencial para aproveitamento industrial. Da casca pode-se extrair pectina, utilizada como agente gelificante na indústria alimentícia, e óleos essenciais, empregados na produção de aromatizantes, cosméticos e produtos de limpeza. As sementes podem ser fonte de óleos comestíveis de boa qualidade. Além disso, os resíduos podem ser utilizados na produção de biogás, contribuindo para a geração de energia renovável (Reda et al., 2005; UNICAMP, 2023).

4.3.6. Tangerina

A tangerina (*Citrus reticulata*), pertencente à família *Rutaceae*, é uma fruta amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais, destacando-se tanto pelo consumo *in natura* quanto pelo aproveitamento industrial de seus subprodutos. Dentre as partes que compõem o fruto, a casca e a polpa se evidenciam por suas características físico-químicas e potencial de reaproveitamento em diversas aplicações.

A casca da tangerina representa uma fração significativa da massa total do fruto, podendo corresponder a cerca de 27% de seu peso (Aguilar et al., 2021). Estruturalmente, a tangerina é composta por partes distintas, como ilustrado na Figura 7, em que se destacam: o flavedo, porção externa rica em pigmentos, óleos essenciais e compostos bioativos como carotenoides e flavonoides; e o albedo, camada interna esponjosa, composta principalmente por fibras alimentares e pectina (Iwassaki; Storer, 2005).

Figura 7 - Estrutura da tangerina.



Fonte: Adaptado de CDZ Tecnologia (2018).

O aproveitamento tecnológico da casca de tangerina tem sido objeto de pesquisas voltadas à produção de ingredientes funcionais, como farinhas com alto teor de fibra alimentar e minerais. Estudos conduzidos por Aguilar et al. (2021) com a variedade Ponkan demonstraram que a secagem e moagem da casca resultam em um produto com composição nutricional promissora para aplicações na indústria alimentícia e farmacêutica.

No que se refere à polpa, esta é constituída majoritariamente por água, açúcares redutores, ácidos orgânicos com destaque para o ácido cítrico, além de ser fonte relevante de vitamina C e compostos antioxidantes. A composição química dessa parte do fruto confere à tangerina não apenas valor nutricional, mas também propriedades funcionais que a tornam atrativa para o desenvolvimento de produtos com apelo à saúde (Silva, 2021).

4.4. Potencial bioativo e nutricional dos resíduos

As frutas cítricas e ácidas são amplamente consumidas devido ao seu sabor atraente, fragrância e qualidades nutricionais. Elas são ricas em fitoquímicos e componentes bioativos, com propriedades que promovem a saúde. Além disso, são fontes significativas de vitamina C, ácido fólico, potássio e pectina (Rafiq et al., 2018), tendo também ganhado destaque devido aos altos teores de polifenóis, especialmente flavonoides e antioxidantes. O gênero *Citrus* é amplamente cultivado mundialmente, com o Brasil destacado como um dos principais produtores e exportadores de produtos cítricos, especialmente o suco de laranja concentrado (Fernandes et al., 2002).

A indústria pode agregar valor sustentável aos resíduos vegetais por meio da extração de compostos com potencial bioativo e nutricional, como óleos essenciais, fenólicos e fibras, com aplicações nos setores cosmético, alimentício, farmacêutico e agrícola. Essa abordagem ganha relevância diante da crescente demanda por alimentos naturais e ingredientes funcionais, impulsionando o aproveitamento de subprodutos das frutas cítricas e ácidas, especialmente das sementes, ricas em compostos de interesse nutricional e comercial (Schieber et al., 2001). No caso do Brasil, maior exportador mundial de suco de laranja, o uso ainda limitado desses resíduos representa uma oportunidade para ganhos econômicos e sustentáveis (Duda-Chodak; Tarko, 2007; Fernandes et al., 2002).

4.4.1. Poder calorífico

Estudos indicam que esses resíduos podem ser aproveitados como biocombustíveis sustentáveis, contribuindo para a redução do desperdício e para a promoção da economia circular. Uma pesquisa realizada por Santos et al. (2015) investigou o valor calorífico das cascas de laranja por pirólise e obteve um valor de 19,3 MJ/kg. Esse valor é comparável ao de outros resíduos lignocelulósicos, como as cascas de madeira, e evidencia o grande potencial energético dos resíduos de frutas cítricas.

Além disso, um estudo conduzido por Tamelová et al. (2018) avaliou o valor calorífico dos resíduos de casca de laranja e toranja (*Citrus sinensis* e *Citrus paradisi*) após o tratamento térmico de torrefação. Os resultados mostraram que a torrefação a 275 °C aumentou significativamente o valor calorífico líquido da casca de laranja para 24,97 MJ/kg, o que representa quase o dobro do valor inicial. Esse processo também resultou em uma maior eficiência de combustão, reduzindo a necessidade de combustível para gerar a mesma quantidade de calor.

4.4.2. Compostos fenólicos

As frutas cítricas são notórias pela presença significativa de compostos fenólicos, que incluem ácidos fenólicos e flavonoides, tais como flavonas polimetoxiladas e flavanonas glicosiladas, que se apresentam como bons marcadores de qualidade e autenticidade dos produtos (Ooghe; Detavernier, 1997). Esses compostos são amplamente estudados por suas propriedades antioxidantes, atuando na proteção contra radicais livres e doenças degenerativas (Gorinstein et al., 2001).

Além disso, flavonoides específicos provenientes das cascas e sementes têm sido associados a efeitos benéficos como atividade anticâncer, antiviral, anti-inflamatória, proteção da fragilidade capilar e inibição da agregação plaquetária, o que reforça seu potencial para o desenvolvimento de produtos farmacêuticos e nutracêuticos (Benavente-Garcia et al., 1997).

4.4.3. Terpenóides

É amplamente reconhecida a presença de óleos essenciais nas cascas de frutas cítricas, compostos majoritariamente por terpenoides, os quais possuem diversas aplicações industriais. No entanto, Nunes et al. (2009) destacam a presença de óleo nas sementes, caracterizado por triacilgliceróis e outros compostos bioativos, como limonina e naringina, que apresentam propriedades funcionais e bioativas relevantes (Giannuzzo et al., 2000; Kobori; Jorge, 2005; Reda et al., 2005).

Os terpenoides, também conhecidos como isoprenoides, constituem uma das maiores classes de metabólitos secundários encontrados em plantas, com ampla distribuição em frutas cítricas e outras espécies vegetais. Esses compostos apresentam uma variedade de propriedades bioativas, incluindo ação antioxidante, antimicrobiana, anti-inflamatória e até potencial anticarcinogênico, o que os torna altamente valorizados nas indústrias farmacêutica, cosmética e alimentícia (Bakkali et al., 2008). Em resíduos cítricos, como cascas e bagaço, destacam-se os monoterpenos, especialmente o limoneno, que além de seu uso como aromatizante, têm aplicação na formulação de produtos de limpeza, solventes naturais e inseticidas (Viuda-Martos et al., 2008).

Além disso, o bagaço de citros, resíduo abundante no processamento industrial, apresenta diversas aplicações sustentáveis. Rico em compostos como terpenoides com propriedades aromáticas e bioativas valorizadas pelas indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica, pode ser aproveitado na geração de energia (combustão direta, biogás, pirólise), na produção de carvão e adsorventes, bem como na fabricação de papel e tijolos. Também é utilizado como

substrato em processos biotecnológicos, para cultivo de microrganismos e produção de enzimas (Mussatto et al., 2006; Silva, 2019; Santos et al., 2003).

4.4.4. Ácido ascórbico

Nas frutas cítricas e ácidas são encontradas elevadas concentrações de vitamina C (ácido ascórbico), reconhecido por seu alto poder antioxidante, que atua na prevenção de doenças degenerativas e melhora do sistema imunológico (Gorinstein et al., 2001). Embora o foco seja geralmente a polpa e o suco, a presença deste ácido também reforça o interesse no reaproveitamento integral da fruta para ingredientes funcionais.

O ácido ascórbico participa de diversos processos metabólicos importantes no organismo humano, como a síntese de colágeno, absorção de ferro não-heme e a regeneração de outros antioxidantes, como a vitamina E (Padayatty et al., 2003). Sua ação como eliminador de radicais livres confere-lhe um papel fundamental na proteção contra o estresse oxidativo, associado ao envelhecimento celular e ao desenvolvimento de enfermidades crônicas, como câncer e doenças cardiovasculares (Jacob; Burri, 1996).

Além de sua relevância nutricional, o ácido ascórbico é amplamente utilizado pela indústria alimentícia como aditivo funcional, com propriedades antioxidantes e conservantes, auxiliando na manutenção da cor, sabor e valor nutricional dos produtos (Naidu, 2003). Em formulações que visam a funcionalidade e a saudabilidade, seu uso é especialmente valorizado. Estudos também apontam que cascas e bagaços de frutas cítricas, frequentemente descartados como resíduos, contêm concentrações significativas de vitamina C, o que reforça o potencial do aproveitamento integral dessas matérias-primas em produtos com apelo funcional e sustentável (Maqbool et al., 2023).

4.4.5. Ácido Cítrico

O ácido cítrico é um composto orgânico naturalmente presente em frutas cítricas, como laranja, limão e tangerina, sendo o principal responsável pelo sabor ácido característico desses frutos (Clements, 1964). No contexto metabólico, destaca-se por sua atuação como intermediário no ciclo de Krebs, processo bioquímico essencial para a produção de energia nas células. Apesar de não possuir valor energético direto, sua presença no organismo está associada ao adequado funcionamento do metabolismo celular (Lehninger et al., 2008).

Do ponto de vista nutricional, o ácido cítrico apresenta propriedades antioxidantes e quelantes, que favorecem a estabilidade de vitaminas e minerais, além de aumentar a biodisponibilidade de nutrientes como ferro e cálcio em alimentos enriquecidos (Fennema,

2010). Tais características o tornam um aditivo de interesse para a formulação de produtos alimentícios funcionais, contribuindo para a promoção da saúde e a prevenção de deficiências nutricionais (Soares et al., 2023).

Atualmente, o ácido cítrico é amplamente utilizado na indústria alimentícia como conservante natural e regulador de acidez, sendo eficaz na inibição do crescimento de microrganismos e na ampliação da vida útil dos alimentos (Damodaran et al., 2010). Além do setor alimentício, seus potenciais têm sido explorados em outras áreas, como a farmacêutica, cosmética e ambiental, destacando-se seu uso em processos de biorremediação e na fabricação de materiais biodegradáveis (Książek, 2023).

4.4.6. Fibras e proteínas

A pectina, presente em frutas cítricas, como laranjas, e em outras frutas como maçãs e morangos, é um polissacarídeo encontrado principalmente nas paredes celulares das plantas. É um tipo de fibra solúvel amplamente utilizada na indústria alimentícia devido às suas propriedades gelificantes, espessantes e estabilizantes. Ela é encontrada principalmente na quantidade de tecido do parênquima das frutas, especialmente na casca, bagaço e fiapos das frutas cítricas, como laranja, limão e tangerina (Uenojo; Pastore, 2006).

O potencial da pectina reside na sua capacidade de formar géis, o que a torna ideal para a produção de doces, geleias, produtos lácteos e alimentos funcionais. Além disso, ela apresenta benefícios à saúde, contribuindo para a regulação intestinal, controle do colesterol sanguíneo e auxílio na redução do risco de doenças cardiovasculares (Limberg et al., 2000).

A acessibilidade da pectina é alta, uma vez que ela é extraída principalmente a partir de resíduos agrícolas, como cascas e bagaços de frutas cítricas, resíduos que normalmente seriam descartados ou utilizados de forma limitada. Assim, sua produção a partir desses resíduos promove uma valorização de materiais que normalmente seriam descartados, tornando seu uso economicamente viável e sustentável (Uenojo; Pastore, 2006; Zheng; Shetty, 2000).

A celulose, as hemiceluloses, a pectina e as proteínas presentes nas cascas de frutas cítricas, assim como outras fibras orgânicas, apresentam alta resistência à tração devido ao comprimento das cadeias de celulose de alto peso molecular, além de demonstrar grande resistência ao calor em virtude de sua estrutura cristalina (Mahato et al., 2020). De acordo com Parmar (2013), os resíduos das cascas podem ser convertidos em matéria-prima sustentável, com aplicações inovadoras, como na impressão 3D.

4.4.7. Minerais

Além dos compostos orgânicos, as frutas cítricas apresentam um perfil significativo de minerais essenciais como cálcio, ferro e outros sais minerais importantes para a nutrição humana. Estes elementos contribuem para o valor nutricional e podem ser potencialmente extraídos ou reaproveitados na forma de concentrados alimentares ou suplementos (Mouly; Gaydou; Arzouyan, 1999).

Entre os minerais presentes nas frutas cítricas, o potássio se destaca pela sua abundância e função reguladora no equilíbrio osmótico e na contração muscular, sendo essencial para o funcionamento adequado do sistema cardiovascular (He; Nowson; Macgregor, 2006). Já o cálcio, também encontrado em quantidades relevantes, desempenha papel central na formação e manutenção dos ossos e dentes, além de participar da coagulação sanguínea e da transmissão nervosa (Ross et al., 2011).

Adicionalmente, estudos de resíduos de frutas cítricas e ácidas, especialmente cascas, indicam potencial para aproveitamento mineral, com quantidades superiores de K, Ca, Mg, Fe e Zn em relação à polpa (Barros; Ferreira; Genovese, 2012; Czech et al., 2019), evidenciando que cascas e bagaços retêm quantidades significativas desses minerais, o que reforça o interesse na valorização de subprodutos para a formulação de ingredientes funcionais (Ajila et al., 2007). A utilização desses resíduos como fonte mineral alternativa pode ser uma estratégia sustentável para a indústria de alimentos e suplementos, contribuindo tanto para a redução de desperdícios quanto para a promoção da saúde por meio da oferta de produtos com maior densidade nutricional.

4.5. Aplicações e inovações no processamento de subprodutos

4.5.1. Consumo animal

O uso de resíduos agroindustriais na alimentação animal tem ganhado destaque devido às vantagens econômicas, ambientais e nutricionais. Segundo Melo (2021), a incorporação de subprodutos na dieta de ruminantes contribui para a redução de custos de produção, além de promover um maior aproveitamento de resíduos, evitando o descarte indevido e minimizando impactos ambientais. O aproveitamento de resíduos na alimentação animal é feito por meio de processos que visam garantir a qualidade nutricional dos ingredientes, além de assegurar a segurança dos animais. Segundo Paine (2016), a bromatologia dessas matérias-primas permite avaliar sua composição química, possibilitando uma formulação balanceada das rações. Além disso, avanços tecnológicos têm facilitado a inclusão de subprodutos de forma eficiente, como

explicado por Mourão et al. (2012), que descrevem o processamento de milho na alimentação de ruminantes, garantindo maior digestibilidade e absorção de nutrientes.

A aplicação dos resíduos de frutas cítricas e ácidas como fontes de energia e proteína alimentar reforça a importância desse aproveitamento na redução de custos e na sustentabilidade do setor. A utilização de polpa cítrica na nutrição de ruminantes, representada na Figura 8, teve início nos EUA em 1911, com o primeiro trabalho científico publicado em 1917 (Wing, 1982). No Brasil, por exemplo, em que a produção de resíduos cítricos (como casca, bagaço e sementes) representa cerca de 50% do peso da fruta processada, gera-se uma quantidade considerável de material que pode ser incorporado à alimentação animal, principalmente para ruminantes (Dutra et. al., 1997).

Figura 8 - Importância da fibra na nutrição de ruminantes.



Fonte: Thamara Mendonça (2017).

Segundo Eduardo (2011), polpa cítrica peletizada, coproduto obtido na industrialização de cítricos, é uma das formas mais comuns de aproveitar esses resíduos. Seus principais componentes, como a alta concentração de pectina e o elevado valor energético, fazem desse subproduto uma fonte viável para substituição parcial ou total do milho em dietas de animais como cordeiros e vacas. A peletização facilita seu armazenamento, transporte e mistura às rações, além de promover maior palatabilidade e uniformidade na incorporação do resíduo na dieta (Van Soest, 1994).

O estudo feito por Xavier et al. (2006) avaliou a substituição do feno de coastcross (*Cynodon dactylon*) pelo resíduo agroindustrial de abacaxi desidratado (RAD) em dietas para caprinos em crescimento (Figura 9). Foram utilizadas 24 fêmeas mestiças Saanen x Crioula, submetidas a quatro níveis de substituição (0, 33, 66 e 100%) do feno por RAD. Os resultados indicaram aumento linear na digestibilidade da matéria orgânica (MO) e da celulose (CEL),

além de efeito quadrático na digestibilidade da fibra em detergente ácido (FDA). Embora o consumo de nutrientes digestíveis tenha diminuído com o aumento da substituição, os ganhos de peso diário permaneceram satisfatórios, variando de 196 a 215 g/dia. Assim, concluiu-se que o RAD pode ser utilizado como alternativa ao feno de coastcross, sem comprometer o desempenho dos animais e ainda favorecendo a digestibilidade de determinados nutrientes.

Figura 9 - Nutrição de caprinos e ovinos.



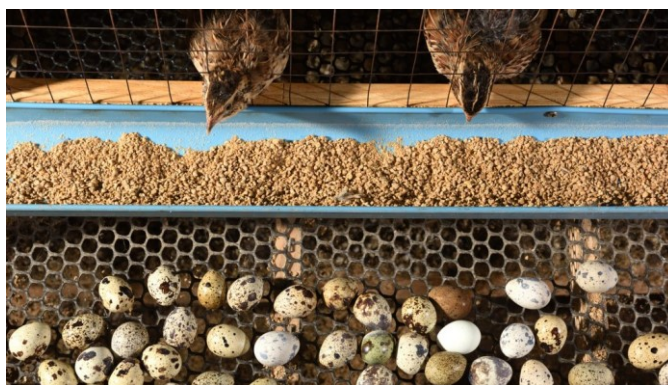
Fonte: Compre Rural (2020).

Já o estudo de Rogério et al. (2007) avaliou a inclusão de resíduo do processamento de abacaxi (*Ananas comosus*) em dietas para ovinos com quatro níveis de inclusão do resíduo (0%, 11%, 16% e 27%). Os resultados mostraram que o maior consumo de matéria seca ocorreu quando as dietas continham 11% do resíduo. Além disso, os animais alimentados com 11% de resíduo apresentaram maiores consumos de proteína bruta, fibra detergente neutra, fibra detergente ácida, celulose e energia metabolizável, em comparação com aqueles alimentados com 27% de resíduo. O coeficiente de digestibilidade da FDA foi maior nas dietas sem o resíduo de abacaxi, enquanto a digestibilidade da celulose foi semelhante em todos os tratamentos. O melhor desempenho foi observado nas dietas com até 16% de resíduo de abacaxi na base da matéria seca, indicando que o resíduo de abacaxi tem efeito positivo na digestibilidade e no balanço energético e proteico dos animais. Assim, ambos os estudos sugerem que o resíduo de abacaxi pode ser uma alternativa eficiente em dietas de ruminantes, melhorando a digestibilidade de certos nutrientes e proporcionando um bom desempenho, seja substituindo o feno (Xavier et al., 2006) ou com inclusão parcial nas dietas (Rogério et al., 2007).

De forma similar, o resíduo da acerola foi investigado como ingrediente alternativo em dietas para codornas de corte, com o objetivo de analisar seu impacto no desempenho produtivo, rendimento de carcaça, biometria intestinal e viabilidade econômica das aves aos 42 dias de idade. O estudo realizado por Ferreira et al. (2019) com 400 codornas europeias utilizou cinco

níveis de inclusão de resíduo de acerola (0, 3, 6, 9 e 12%) em um delineamento experimental inteiramente casualizado. Não foram observadas diferenças significativas no ganho de peso, consumo de ração, conversão alimentar, nem nos rendimentos de carcaça e cortes nobres. Contudo, houve efeito linear no peso do fígado e da moela, tanto absolutos quanto relativos, com aumento conforme a inclusão do resíduo. A biometria intestinal não foi afetada pelos níveis de inclusão. Concluiu-se pelos autores que o resíduo de acerola pode ser incorporado até 12% nas dietas de codornas europeias sem comprometer o desempenho produtivo e a viabilidade econômica das aves, conforme ilustrada a seguir pela Figura 10.

Figura 10 - Nutrição de codornas.



Fonte: Agrocere Multimix (2021).

Em continuidade às pesquisas sobre alimentação para codornas, Ferreira et al. (2018) investigaram o impacto do resíduo da polpa de maracujá (RPM) como ingrediente alternativo na alimentação de codornas fêmeas, focando nas características de carcaça aos 35 dias de idade. Para isso, utilizaram 225 codornas europeias, distribuídas em um delineamento experimental inteiramente casualizado, com cinco níveis de inclusão de RPM (0, 3, 6, 9 e 12%), e avaliaram os efeitos nos pesos absolutos e relativos de carcaça, cortes nobres (peito e pernas) e vísceras comestíveis (como coração, fígado e moela). Os resultados mostraram efeito significativo apenas no peso do peito, com aumento nos pesos absolutos e relativos. Não houve diferenças significativas nos demais parâmetros avaliados, como os cortes nobres e vísceras comestíveis. De acordo com os dados obtidos, a inclusão do resíduo de maracujá em até 12% nas dietas das codornas fêmeas não comprometeu a qualidade das características de carcaça e dos cortes nobres, demonstrando que o RPM pode ser uma opção viável para substituir outros ingredientes mais caros na alimentação das aves.

Na piscicultura, o aproveitamento de resíduos agroindustriais tem sido uma estratégia promissora para redução de custos. Pinheiro et al. (2025) avaliaram a inclusão do resíduo de

maracujá (RM), rico em fibra dietética, na alimentação de tambaquis (*Colossoma macropomum*), observando que a dieta com 13,7% de fibra proporcionou melhor desempenho produtivo e menor custo por quilo de biomassa, enquanto a dieta com 23,5% apresentou maior eficiência econômica, mesmo com menor rendimento. O estudo conclui que o uso do RM pode otimizar a produção e reduzir custos, desde que o nível de inclusão seja equilibrado com base na eficiência técnica e econômica. Da mesma forma, Santos et al. (2022) investigaram o uso do RM na alimentação de alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e observaram que, embora não houvesse diferença significativa no desempenho zootécnico ou nas variáveis morfofisiológicas, a inclusão de 12% do RM resultou em maior viabilidade econômica. Ambos os estudos demonstram que o RM pode ser utilizado com sucesso como ingrediente alternativo em dietas de peixes, visto na Figura 11, contribuindo para a sustentabilidade da aquicultura sem comprometer o desempenho animal.

Figura 11 - Nutrição de peixes.



Fonte: Nutrinews (2022).

Por fim, com o crescimento do número de cães como animais de estimação, houve um aumento na preocupação com sua qualidade de vida, especialmente em relação à alimentação. O consumo excessivo de petiscos, que geralmente não são completos, tem contribuído para casos de sobrepeso (Pinhão et al., 2010). Diante disso, Chaves (2022) desenvolveu um petisco de baixo valor calórico e rico em fibras, utilizando farinha do resíduo de acerola. Foram realizadas análises físico-químicas da farinha e, posteriormente, o petisco foi produzido pelo autor, conforme Figura 12, com 27% desse resíduo e comparado a um comercial. Os resultados mostraram que o petisco com acerola teve 33 vezes mais fibras e 1,54 vezes menos carboidratos,

apresentando também valor energético 35,7% menor. Assim, foi possível criar um produto mais saudável e sustentável, agregando valor a um resíduo agroindustrial.

Figura 12 - Processo de produção dos petiscos.



Fonte: Chaves (2022).

4.5.2. Consumo humano

No contexto do aproveitamento de resíduos para o consumo humano, destaca-se o estudo de Lima, de Oliveira e Ferreira (2021), que avaliou a aplicação de 30g de farinha da casca de tangerina em 180g de farinha de arroz (receita tradicional de pão sem glúten), elaborada e representada em etapas na Figura 13, na formulação de pão sem glúten, alternativa destinada a indivíduos com restrições alimentares. Foram elaboradas duas versões do produto, uma padrão e outra contendo o resíduo da fruta como pode ser visto na Figura 14. Embora o pão padrão tenha obtido maior aceitação sensorial quanto à textura e ao sabor, os valores nutricionais foram similares entre as formulações, demonstrando o potencial da casca de tangerina como ingrediente funcional. Os autores recomendaram a realização de novos testes com diferentes níveis de adição, visando otimizar tanto o valor nutricional quanto a aceitação sensorial do produto.

Figura 13 - Etapas de elaboração da farinha de casca de tangerina. A: Casca de tangerina in natura; B: Casca de tangerina após passar pelo processo de dessecação; C: Farinha da casca de tangerina.



Fonte: de Lima, de Oliveira e Ferreira (2021).

Figura 14 – Pão padrão (A) e pão com a farinha de casca de tangerina (B).



Fonte: de Lima, de Oliveira e Ferreira (2021).

Assim como a casca de tangerina, a casca de limão Tahiti também tem se mostrado uma excelente fonte alternativa de nutrientes para a alimentação humana. Brito et al. (2019) elaboraram farinha a partir das cascas do limão Tahiti, utilizando flavedo, albedo e membrana, como uma alternativa ambientalmente sustentável e nutricionalmente rica. As cascas foram secas a 70°C por 12 horas e, após trituradas e peneiradas, foram analisadas quanto a diversos parâmetros físico-químicos. Os resultados indicaram concentrações significativas de compostos bioativos, como fenóis, flavonoides e antocianinas, além de valores nutricionais interessantes em termos de açúcares, proteínas e lipídios. Dessa forma, a farinha de casca de limão pode ser considerada uma opção viável para a valorização de novos produtos alimentícios ou até mesmo para a substituição de ingredientes em formulações alimentícias, contribuindo para a sustentabilidade e a inovação na indústria alimentícia.

O estudo conduzido por Ishimoto et al. (2007) investigou o aproveitamento da casca de maracujá amarelo na produção de biscoitos, com foco na aceitabilidade sensorial e no valor nutricional do produto final. A pesquisa utilizou um planejamento fatorial 2², avaliando os

fatores teor de farinha de resíduo e teor de gordura nas formulações. Os resultados indicaram que não houve diferença significativa entre as amostras, sendo a formulação escolhida aquela com menor quantidade de gordura e maior proporção de farinha de casca de maracujá, que apresentou 7,35% de teor de umidade, 7,38% de cinzas e 26,29% de fibra bruta. Além disso, foi realizado um teste sensorial comparando os biscoitos formulados com farinha de casca de maracujá tratada (macerada) e sem tratamento, sem diferenças significativas entre ambas as amostras. A farinha de casca de maracujá apresentou boa concentração de fibras, enquanto o biscoito final (Figura 15) teve uma quantidade 7,5 vezes superior em fibras quando comparado a um biscoito convencional, destacando-se como uma alternativa nutricionalmente enriquecida.

Figura 15 - Biscoitos com farinha de casca de maracujá amarelo utilizados na análise sensorial.



Fonte: Ishimoto et al. (2007).

No estudo de Silva (2015), a caracterização do resíduo de acerola revelou compostos antioxidantes que favorecem sua secagem. A secagem foi realizada de forma convectiva em camada delgada, variando temperatura e velocidade do ar, com a obtenção de uma equação para a cinética de secagem. As isotermas de dessorção foram determinadas nas temperaturas de 35°C, 50°C, 65°C e 80°C, com a equação Sigma-Copace ajustando-se melhor aos dados. A secagem em camada espessa, avaliada por um Planejamento Composto Central Ortogonal, mostrou a condição ideal com $V=1,30$ m/s, $T=60^{\circ}\text{C}$ e $t=140$ min, resultando em um resíduo homogêneo e com bons compostos bioativos. A análise química identificou compostos como ácido málico e fitoesteróis, e a aceitabilidade foi testada em um *cookie*, com bons resultados sensoriais, indicando que 95% dos provadores comprariam o produto. O aproveitamento do resíduo de acerola mostrou-se viável, oferecendo uma alternativa sustentável e nutricionalmente rica.

Os estudos de Lima et al. (2014) e Tozatti et al. (2013) investigaram o aproveitamento de resíduos de frutas cítricas na produção de biscoitos como alternativa para reduzir o desperdício e melhorar o valor nutricional desses alimentos. Lima et al. (2014) avaliaram a substituição de 20% da farinha de trigo por farinha de resíduo de acerola na elaboração de biscoitos tipo língua de gato (Figura 16) e observaram um aumento no teor de fibras e uma redução no valor calórico, sem comprometer a aceitação sensorial. De forma similar, Tozatti et al. (2013) utilizaram farinha de resíduo de laranja na produção de biscoitos tipo *cracker* em quatro concentrações (0, 5, 10 e 20%) e verificaram que a formulação com 5% de resíduo obteve as melhores notas no teste de aceitação, apresentando também maior teor de fibras sem alteração significativa na aceitação em relação ao biscoito padrão. Ambos os estudos demonstram que a adição de resíduos de frutas cítricas, como acerola e laranja, na forma de farinha, é uma alternativa viável para enriquecer produtos de panificação com fibras, agregando valor nutricional e promovendo o reaproveitamento sustentável de subprodutos.

Figura 16 – Biscoitos produzidos com farinha de resíduo de acerola.



Fonte: Lima et al. (2014).

Além dos alimentos sólidos, também vêm sendo estudadas alternativas de aproveitamento de resíduos na produção de bebidas. Um exemplo que se destaca é o uso do resíduo de acerola verde como meio de fermentação para a produção de kombucha, bebida tradicionalmente elaborada a partir do chá verde. Schroeder (2019) demonstrou que a kombucha fermentada com extrato de resíduo seco de acerola apresentou aumento significativo da atividade antioxidante e do teor de polifenóis, especialmente na formulação com 6% de extrato. Além disso, observou-se maior formação de biofilme microbiano em comparação ao chá verde, o que indica que os compostos presentes no resíduo, como polifenóis, ácidos orgânicos e açúcares, contribuem para uma fermentação mais eficiente e funcional. Esses

resultados ressaltam o potencial dos resíduos alimentares como ingredientes versáteis na criação de novos produtos com valor nutricional e funcional agregado.

Além da inovação na produção de bebidas, o aproveitamento de resíduos também tem ganhado espaço em produtos voltados ao público com restrições alimentares, como os intolerantes à lactose. Xavier et al. (2019) desenvolveram um doce de leite sem lactose saborizado com raspas de casca de limão, buscando não apenas oferecer uma alternativa viável para esse público, mas também valorizar um resíduo agroindustrial. A análise sensorial realizada com amostras com e sem lactose, representada na Figura 17, indicou que não houve diferenças significativas na aceitação nem na intenção de compra. O produto saborizado com o resíduo de limão foi bem aceito pelos consumidores, demonstrando que é possível aliar inovação, funcionalidade e sustentabilidade no desenvolvimento de alimentos inclusivos.

Figura 17 - Doce de leite com lactose à esquerda e sem lactose (saborizado com raspas de casca de limão) à direita.



Fonte: Xavier et al. (2019).

A utilização de resíduos agroindustriais na formulação de barras de cereais tem se mostrado uma alternativa promissora para o desenvolvimento de alimentos funcionais e sustentáveis. Souza et al. (2021) investigaram o uso do resíduo de abacaxi seco por convecção para elaboração de barras de cereais, sendo que a formulação contendo 4,5% do pó do resíduo apresentou bons resultados em textura, cor e concentração de compostos bioativos, como a catequina, destacando-se por sua atividade antioxidante. De forma semelhante, Souza et al. (2023) avaliaram a viabilidade do uso de farinha de casca de maracujá na produção de barras de cereais, as quais passaram por análises físico-químicas e microbiológicas, comprovando-se a segurança do produto e o potencial de aproveitamento da casca como ingrediente funcional. Ambos os trabalhos evidenciam o potencial nutricional e ecológico da reutilização de resíduos

de frutas cítricas, contribuindo para o desenvolvimento de produtos inovadores e sustentáveis no setor alimentício.

4.5.3. Extração de compostos

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de frutas tropicais, o que gera uma grande quantidade de resíduos agroindustriais provenientes do consumo e processamento dessas frutas. No caso do abacaxi (*Ananas comosus*), por exemplo, partes como cascas, talos, folhas e coroas geralmente são descartadas, contribuindo para o aumento de resíduos orgânicos e para impactos ambientais significativos. No entanto, pesquisas recentes mostram que esses resíduos contêm compostos de alto valor agregado, como antioxidantes e fibras vegetais, que podem ser aproveitados de forma sustentável em diferentes aplicações industriais e científicas.

Uma dessas pesquisas foi conduzida por Seffrin (2017), que investigou o potencial antioxidante de extratos obtidos a partir da coroa do abacaxi. Foram utilizadas diferentes técnicas de extração, como a maceração simples e a maceração assistida por ultrassom, além de diferentes concentrações de etanol como solvente. Para avaliar a atividade antioxidante dos extratos, utilizaram-se dois testes amplamente reconhecidos, que medem a capacidade dos compostos de neutralizar radicais livres: DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) e ABTS (Ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico)). Os resultados mostraram que o uso de etanol a 70% aumentou a eficiência da extração, enquanto o uso de ultrassom não apresentou melhorias significativas. O extrato obtido com etanol 70% por maceração com ultrassom demonstrou capacidade antioxidante equivalente à de compostos sintéticos como o *Trolox*, que é um análogo solúvel em água da vitamina E, com propriedades antioxidantes, evidenciando que a coroa do abacaxi pode ser uma fonte promissora de antioxidantes naturais.

Com foco em práticas sustentáveis, outro estudo relevante foi desenvolvido por Costa (2023), que avaliou o uso de solventes alternativos, chamados solventes eutéticos profundos, no processo de extração de compostos fenólicos presentes no resíduo do abacaxi. Esses solventes são conhecidos por serem menos tóxicos e mais sustentáveis em comparação aos solventes orgânicos tradicionais, como o metanol ou o etanol. A pesquisa analisou sete formulações diferentes desses solventes, verificando suas propriedades químicas, físicas e seus efeitos sobre organismos vivos. A viscosidade, ou seja, a resistência ao escoamento dos líquidos, variou conforme os componentes utilizados na formulação de cada solvente. Além disso, a adição de pequenas quantidades de água alterou significativamente o comportamento físico dos solventes, afetando características como a tensão superficial (a força que atua na

superfície do líquido) e o tipo de fluido formado (por exemplo, de comportamento mais denso ou mais fluido).

Do ponto de vista ambiental, alguns desses solventes inibiram a germinação de sementes de alface, enquanto outros se mostraram mais compatíveis com o ambiente, apresentando baixa toxicidade. Quanto à capacidade de extração de compostos fenólicos do resíduo de abacaxi, o melhor desempenho foi observado no solvente que continha colina, glicerol e ácido láctico em sua composição, resultando em 109,30 mg de compostos fenólicos por grama de amostra. Esse valor foi superior ao de muitos métodos convencionais. Para validar os resultados, o material sólido restante após a extração foi analisado com o uso de técnicas avançadas. Uma delas foi a espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), que permite identificar grupos funcionais presentes nos compostos extraídos, como as ligações químicas associadas aos fenólicos.

Outra técnica empregada foi a microscopia eletrônica de varredura (MEV), que possibilita observar a estrutura superficial dos resíduos em alta resolução, revelando mudanças morfológicas após a extração. O estudo também utilizou uma metodologia estatística chamada delineamento composto central, que permitiu encontrar as melhores condições de extração variando temperatura, tempo, volume de solvente, quantidade de água adicionada e massa da amostra. A condição ideal resultou em 226,37 mg de compostos fenólicos por grama, desempenho superior ao método tradicional com etanol a 70%, que alcançou 190,53 mg por grama.

Além do aproveitamento da coroa e da casca do abacaxi, outras partes da planta também vêm sendo estudadas. Um exemplo é o trabalho de Fouad et al. (2024), que investigou o uso da fibra da folha do abacaxi, um resíduo agrícola barato e abundante, para produzir celulose microcristalina, um material com alto potencial para a indústria de materiais, alimentos, farmacêutica e de embalagens. Inicialmente, a fibra foi tratada quimicamente para isolar a celulose microcristalina. Em seguida, essa celulose foi modificada para introduzir grupos carboxílicos, tornando-se mais funcional. As análises foram feitas com o uso de tecnologias sofisticadas, como a FTIR, já mencionada, permitiu confirmar a presença de novos grupos funcionais após a modificação química.

A difração de raios X (DRX) foi utilizada para avaliar a estrutura cristalina do material, mostrando uma diminuição da cristalinidade após a modificação, o que pode ser vantajoso dependendo da aplicação. A microscopia eletrônica de varredura (MEV) revelou alterações na morfologia da fibra, indicando que sua superfície se tornou mais porosa e quebradiça. A análise por dispersão de energia de raios X (EDX) foi empregada para confirmar a composição química

das fibras, revelando alta pureza da celulose obtida. Já a análise termogravimétrica (TGA) foi usada para medir a estabilidade térmica do material, identificando a temperatura na qual ocorre a degradação, enquanto a calorimetria diferencial de varredura (DSC) permitiu observar transições térmicas, como o ponto de fusão. Com isso, os autores concluíram que a fibra da folha de abacaxi pode ser transformada em produtos de alto valor agregado, como materiais funcionais e sustentáveis com diversas aplicações industriais.

A acerola (*Malpighia emarginata*) é amplamente apreciada por seu alto teor de vitamina C, além de compostos fenólicos, como as antocianinas, que conferem a ela uma potente atividade antioxidante. Entretanto, seu processamento gera uma grande quantidade de resíduos, como sementes, películas e fibras, frequentemente descartados. No entanto, esses resíduos podem ser uma fonte valiosa de compostos bioativos, que, se adequadamente aproveitados, podem gerar benefícios tanto ambientais quanto econômicos (Marques, 2013).

Spolidoro (2015) investigou a aplicação de tecnologias emergentes, como o campo elétrico moderado (CEM) e o ultrassom, na extração de compostos fenólicos e ácido ascórbico do resíduo de acerola. A pesquisa mostrou que, embora a aplicação de CEM e ultrassom não tenha resultado em aumento significativo na extração dos compostos bioativos, essas tecnologias podem ainda ser exploradas com ajustes em suas condições para melhorar a eficiência do processo. A extração foi mais eficiente nos primeiros minutos de difusão, quando a concentração de compostos fenólicos foi de 29,7 a 32,5 mg EAG (equivalentes de ácido gálico) por grama de resíduo de acerola.

Livânia (2017) avançou no uso de uma abordagem de encapsulação de compostos bioativos, desenvolvendo nanopartículas a partir de extratos de resíduos de acerola. A pesquisa demonstrou que a técnica de secagem por *spray dryer* resultou em nanopartículas que mantiveram bons rendimentos na encapsulação de compostos fenólicos e vitamina C. As nanopartículas apresentaram valores de compostos fenólicos variando entre $776,02 \pm 11,59$ mg / 100 g e $3553,01 \pm 34,90$ mg / 100 g, dependendo da formulação utilizada. Esse processo não só preservou os compostos bioativos como também aumentou a estabilidade e a biodisponibilidade desses compostos, demonstrando grande potencial para aplicação em produtos alimentícios e farmacêuticos.

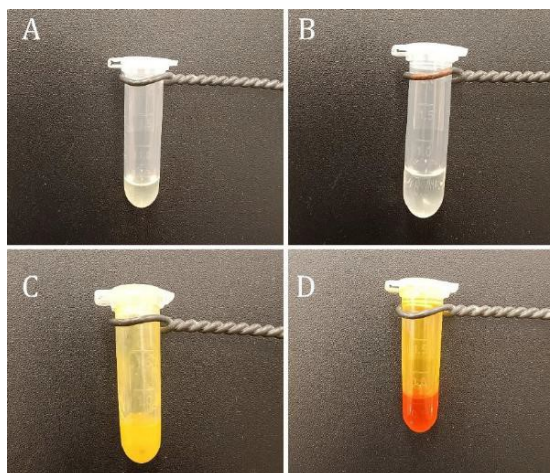
Esses estudos evidenciam o grande potencial do resíduo de acerola como uma fonte sustentável de compostos bioativos, que podem ser aproveitados para a fabricação de novos produtos com propriedades antioxidantes e antimicrobianas, contribuindo para a redução do desperdício e agregando valor à cadeia produtiva da acerola.

Foram também analisados quatro estudos que investigam a extração de compostos bioativos de resíduos de laranja e acerola, utilizando diferentes técnicas de extração e abordagens experimentais. A seguir, apresenta-se uma comparação entre os estudos de Macêdo et al. (2025), Orso et al. (2022), Benelli (2010) e Pereira (2017).

Macêdo et al. (2025) focaram na quantificação dos compostos fenólicos e na avaliação das atividades antioxidante e antimicrobiana de extratos hidroalcoólicos de resíduos de acerola, tanto *in natura* quanto desidratado. O estudo revelou que o resíduo desidratado apresentou um teor significativamente maior de compostos fenólicos (77,60 mg EAG/g), além de uma atividade antioxidante superior, com valores de $212,13 \pm 4,05$ $\mu\text{mol TE/g}$ contra o radical ABTS (ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico)), um composto químico utilizado para determinar a atividade antioxidante de substâncias, e $170,47 \pm 4,65$ $\mu\text{mol TE/g}$ contra o DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazila), um ensaio usado para determinar a capacidade antioxidante de compostos. Também foi observada uma atividade antibacteriana significativa contra as cepas de *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*, com concentrações inibitórias mínimas de 75 mg/mL e 37,5 mg/mL, respectivamente. Assim, é possível concluir que a acerola é uma fonte promissora de compostos bioativos, e seus resíduos podem ser utilizados de forma sustentável para a produção de antioxidantes naturais.

Por outro lado, Orso et al. (2022) focaram na extração de óleo essencial de laranja a partir de resíduos da variedade *Citrus sinensis* 'Valencia'. Neste estudo, a extração foi realizada por hidrodestilação e Soxhlet, demonstrada na Figura 18, com o objetivo de maximizar o rendimento de limoneno. A atividade antioxidante e antimicrobiana do óleo extraído foi avaliada por meio de testes de DPPH e pela determinação da concentração inibitória mínima (CIM) contra *Staphylococcus aureus* e *Proteus mirabilis*.

Figura 18 - Comparação entre os óleos essenciais obtidos por hidrodestilação (A e B) e soxhlet (C e D).



Fonte: Orso et al. (2022).

De forma similar aos resultados de Macêdo et al. (2025), os extratos de laranja apresentaram uma atividade antioxidante significativa, com IC₅₀ de 24,72 µg/mL no teste de DPPH. Além disso, o óleo essencial de laranja foi eficiente contra as bactérias testadas, o que destaca seu potencial como um aditivo funcional para a indústria alimentícia e cosmética. Portanto, a extração de óleo essencial de laranja é outra alternativa promissora para o aproveitamento dos resíduos dessa fruta.

Já Benelli (2010) investigou a extração de compostos bioativos do bagaço de laranja utilizando a tecnologia de extração supercrítica (ESC) com CO₂, além de técnicas convencionais como Soxhlet e ultrassom. O estudo comparou os rendimentos de processo, a composição dos extratos e as atividades biológicas (antioxidante e antimicrobiana) dos diferentes métodos de extração. Os extratos obtidos pela ESC apresentaram um bom potencial antioxidante, com destaque para a atividade antioxidante no teste de DPPH e forte atividade antimicrobiana contra *S. aureus*. A ESC com co-solvente obteve melhores resultados na atividade biológica, enquanto os métodos convencionais, como Soxhlet e ultrassom, apresentaram maiores rendimentos de compostos extraídos. No entanto, a ESC, apesar de ter gerado menores rendimentos, apresentou compostos de maior valor biológico. Esse estudo, portanto, reforça o potencial da ESC para a extração de compostos bioativos de alta qualidade, embora os métodos convencionais também ofereçam vantagens em termos de rendimento.

Por fim, Pereira (2017) abordou a caracterização de resíduos de laranja das variedades *Hamlin*, *Pêra*, *Valência* e *Natal*, oriundos do processamento de suco. O estudo focou na presença de enzimas, compostos fenólicos e nas atividades biológicas desses resíduos, com destaque para a presença de lipases em todas as variedades de laranja. A atividade lipolítica foi

particularmente alta nos resíduos das variedades *Hamlin* e *Pêra*, com valores de 27,45 U/g e 31,13 U/g, respectivamente. Em relação à atividade antioxidante, os resíduos mostraram capacidade de reduzir o radical DPPH em cerca de 70%, mas não apresentaram atividade antimicrobiana significativa contra as bactérias e fungos testados. Além disso, os testes de viabilidade celular mostraram que alguns resíduos foram citotóxicos para linhagens celulares cancerígenas, enquanto outros estimularam o crescimento de fibroblastos. Esses resultados apontam para o alto valor biotecnológico dos resíduos de laranja, especialmente em termos de enzimas e compostos fenólicos.

Em síntese, todos os estudos analisados demonstram o alto potencial dos resíduos de laranja e acerola como fontes de compostos bioativos com diversas aplicações nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética. Os métodos de extração variaram entre hidrodestilação, Soxhlet, ultrassom, ESC e técnicas convencionais, sendo que a ESC com CO₂ se destacou por sua capacidade de extrair compostos de alta qualidade, embora com rendimentos menores. Em contraste, técnicas como Soxhlet e ultrassom apresentaram rendimentos superiores, mas com compostos de menor valor biológico.

Oliveira et al. (2012) demonstraram o potencial de valorização dos resíduos agroindustriais do maracujá por meio da extração de compostos voláteis com propriedades aromáticas. Utilizando as técnicas de hidrodestilação simples e hidrodestilação com arraste de gás nitrogênio, os autores identificaram, por meio de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas, trinta e um compostos no extrato obtido, incluindo neral (26,19%), cinamato de metila (18,52%) e linalol (16,82%), além de outros como 1-undecanol, benzaldeído e 1-hexanol. Na hidrodestilação com arraste de gás, destacou-se a maior concentração de cinamato de metila (30,41%) e β -ionona (13,81%), compostos de elevado valor para as indústrias de cosméticos, alimentos e fragrâncias. Esses resultados evidenciam que os resíduos do processamento de maracujá, muitas vezes descartados como subproduto de baixo valor, podem ser aproveitados como matéria-prima para a extração de essências naturais, promovendo o reaproveitamento de biomassa e agregando valor à cadeia produtiva.

De forma complementar, Aiarroio et al. (2024) propuseram o uso de resíduos cítricos, como cascas de tangerina e laranja, na formulação de um pesticida natural à base de compostos bioativos. O estudo focou na extração de limoneno, presente nas cascas de tangerina, e de citronelol, oriundo da planta citronela, utilizando a técnica de destilação simples conforme Figura 19. Esses compostos foram associados à pectina extraída das cascas de laranja, atuando como emulsificante, o que permitiu a formação de uma solução homogênea em água. Os ensaios demonstraram que os óleos essenciais, tanto isoladamente quanto combinados com pectina,

foram eficazes no controle de pulgões da família *Aphididae*, levando à morte dos insetos como pode ser observado na Figura 20. Essa abordagem apresenta-se como uma alternativa sustentável ao uso de pesticidas sintéticos, destacando o potencial dos resíduos agroindustriais como insumos na produção de defensivos agrícolas naturais, de baixo custo, viáveis em pequena escala e com menor impacto ambiental, contribuindo para práticas agrícolas mais seguras e ecologicamente responsáveis.

Figura 19 - Cascas de tangerina trituradas e sendo destiladas.



Fonte: Aiarroio et al. (2024).

Figura 20 - Teste no pulgão.



Fonte: Aiarroio et al. (2024).

A casca de limão, subproduto amplamente gerado pela indústria de processamento de frutas, é frequentemente descartada de forma inadequada, resultando em um desperdício significativo de recursos e impacto ambiental (Chaves, 2022). No entanto, diversos estudos têm demonstrado que a casca de limão é rica em compostos bioativos, como flavonoides,

limonoides, ácidos graxos e compostos fenólicos, os quais possuem propriedades valiosas para as indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética.

Reda et al. (2005) caracterizaram óleos extraídos das sementes de limão rosa e limão siciliano, identificando compostos como ácidos graxos insaturados, incluindo o ácido linoléico (43%) e o ácido oléico (21,2%) no óleo de limão rosa, e o ácido linoléico (34,4%) e ácido oléico (28,6%) no óleo de limão siciliano. Esses óleos apresentaram boa estabilidade térmica e são caracterizados por sua alta concentração de compostos insaturados, que possuem uma gama de aplicações, desde a produção de alimentos até cosméticos, devido às suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias. Essa investigação reforça o potencial da casca de limão como uma fonte valiosa de compostos bioativos.

Além disso, Lima (2021) aprofundou-se na extração do óleo essencial da casca de limão, destacando a presença de compostos como polifenóis e carotenóides, que apresentam importantes propriedades antimicrobianas, antioxidantes e ajudam na proteção do sistema imunológico. Em sua pesquisa, foi utilizado o método Soxhlet representado na Figura 21, com etanol como solvente, para extrair os compostos bioativos da casca de limão, com um rendimento de 18,02%. Este estudo reforça a ideia de que o limão, com seus compostos bioativos, não só é uma fonte sustentável, mas também uma alternativa viável para substituir fragrâncias sintéticas na fabricação de produtos cosméticos e de higiene, além de demonstrar a eficácia do uso de solventes verdes na extração de compostos bioativos.

Figura 21 - Extração do óleo essencial das cascas e folhas do limão pelo método Soxhlet.



Fonte: Lima (2021).

Da mesma forma, Iervese et al. (2024) investigaram o potencial do pomace de limão, um subproduto do processamento industrial de suco de limão, como uma fonte rica em flavonoides e limonoides. Eles realizaram extrações dessas substâncias, com o objetivo de avaliar suas propriedades funcionais em emulsões óleo-em-água (o/w). Os extratos de limão foram usados para enriquecer as emulsões com concentrações crescentes de flavonoides e

limonoides, o que resultou em alterações significativas nas propriedades coloidais das emulsões, como a redução da tensão superficial da camada interfacial das proteínas. Esses extratos também mostraram um comportamento de floculação dependente da concentração de extrato, com a estabilização das emulsões aumentando a estabilidade oxidativa. Isso evidencia o potencial do pomace de limão como uma fonte valiosa de compostos bioativos para diversas aplicações industriais, incluindo a produção de emulsões alimentícias e farmacêuticas.

Por fim, Chaves (2022) propôs o uso de técnicas emergentes de extração para recuperar flavonoides da casca de limão, utilizando solventes alternativos e métodos considerados "verdes". Em seu estudo, a combinação de extração com líquidos pressurizados (PLE) e extração de fase sólida (SPE) foi aplicada para obter frações com composição química distinta de compostos polares e menos polares. A técnica de extração assistida por ultrassom (UAE) foi também testada, destacando-se o uso de solventes eutéticos, como a mistura de cloreto de colina com ácido acético, que demonstrou maior eficiência na extração de flavonoides específicos, como a hesperidina e a narirutina. O estudo de Chaves (2022) revelou que os rendimentos obtidos por essas técnicas emergentes foram superiores em comparação com as técnicas convencionais, permitindo a obtenção de compostos com alta pureza e potencial para aplicações farmacêuticas e alimentícias. Além disso, a pesquisa enfatizou o potencial da casca de limão como uma matéria-prima promissora para a extração de flavonoides e outros compostos bioativos, com foco na sustentabilidade e no reaproveitamento de resíduos industriais, evidenciando as vantagens dos solventes verdes.

Portanto, esses estudos convergem para a importância de reaproveitar a casca de limão, um resíduo subutilizado, através de métodos de extração modernos e sustentáveis, que não só ajudam a minimizar o desperdício, mas também agregam valor econômico e ambiental. O uso dessas tecnologias avançadas para extrair compostos bioativos da casca de limão oferece uma vasta gama de aplicações, desde ingredientes alimentícios e farmacêuticos até produtos cosméticos, promovendo uma economia circular e sustentável.

4.5.4. Geração de energia

O Brasil é o maior produtor mundial de laranjas, e a indústria de sucos, que processa grande parte dessa fruta, gera uma quantidade considerável de resíduos, como o bagaço e a casca da laranja. Nesta seção apresentam-se diversos estudos que têm demonstrado que esses subprodutos podem ser utilizados como matéria-prima para a geração de biogás, biometano e biocarvão, contribuindo assim para a valorização desses resíduos e promovendo alternativas sustentáveis para a produção de energia e materiais com valor agregado.

Santos et al. (2018) investigaram o potencial de geração de biogás e biometano a partir do bagaço de laranja em combinação com lodo industrial. O estudo, realizado em reatores em batelada de 250 mL, revelou que a digestão anaeróbia desses resíduos resultou em uma produção significativa de biogás (288,0 NmL/gSSV) e metano (85,92 NmL/gSSV). A combinação com o lodo industrial mostrou-se eficiente, acelerando o processo e resultando em metano de alta qualidade, superior a 54%. Os resultados sugerem que o bagaço de laranja pode ser utilizado de maneira eficaz na digestão anaeróbia, promovendo a geração de energia e biofertilizante, com um aproveitamento energético importante para a sustentabilidade no setor agroindustrial.

Teresa et al. (2023) também estudaram o aproveitamento dos resíduos de laranja, mas com foco na geração de biogás e biometano a partir dos resíduos de casca de laranja (RCL) por meio da digestão anaeróbia. O estudo comparou os rendimentos de biogás e biometano utilizando a casca de laranja em diferentes formatos, como suco e pedaços triturados, e concluiu que os reatores que utilizaram a casca em pedaços tiveram um desempenho superior, com uma produção de biogás 160% maior e de biometano 250% maior em relação aos reatores que utilizaram o suco. Apesar dos rendimentos de biogás e biometano terem sido inferiores aos encontrados em outros estudos da literatura, os resultados indicam que a digestão anaeróbia dos resíduos de laranja pode ser uma alternativa viável para a geração de energia, contribuindo para a sustentabilidade e redução dos impactos ambientais.

A comparação dos dois estudos revela que, embora com abordagens distintas, ambos destacam o grande potencial dos resíduos de laranja para a geração de energia e produtos de valor agregado. Santos et al. (2018) enfatizam a eficiência da digestão anaeróbia combinada com lodo industrial para a produção de biogás e biometano. Já Teresa et al. (2023) investigam o impacto do formato dos resíduos (em pedaços ou suco) na eficiência da digestão anaeróbia para biogás e biometano, destacando a viabilidade dessa prática para o aproveitamento energético.

A dissertação de Azevedo (2018) explora a valorização de resíduos agroindustriais, como casca de abacaxi e chorume de porco, para a produção de biogás por digestão anaeróbia. O estudo mostrou que o licor de casca de abacaxi, após pré-tratamento térmico, é um bom co-substrato quando combinado com chorume de porco, aumentando a produção de biogás e metano em até 82% e 81%, respectivamente. A adição do licor melhorou a eficiência do processo, aumentando as razões de sólidos voláteis e compostos orgânicos, além de reduzir a quantidade de resíduos, mantendo a estabilidade do reator. Esses resultados indicam que o uso desses resíduos pode ser uma alternativa sustentável para a produção de energia renovável.

No mesmo foco de economia circular, Ferreira (2016) investigou a produção de metano a partir de resíduos agroindustriais, especificamente da acerola, utilizando dejetos da ovinocultura e suinocultura como inóculos em um processo de digestão anaeróbia. O experimento foi realizado em biodigestores de bancada ao longo de 112 dias e dividido em duas etapas. Os tratamentos variaram a concentração do substrato e o tipo de inóculo. Na primeira fase, o tratamento com maior pico de produção de metano foi o que utilizou 100% de resíduo de acerola e dejetos de ovinocultura. Já na segunda fase, a maior produção foi observada com o tratamento que utilizou 300% de substrato de acerola e inóculo de suíno. O estudo concluiu que os dejetos suínos apresentaram melhor desempenho na produção de metano, e que maiores concentrações de substrato aumentam a produção de metano, embora demandem mais tempo para a degradação.

Por fim, Vieira (2020) analisou o potencial de geração de biogás a partir de cascas de dois tipos de tangerina, “Ponkan” (Figura 22) e “Montenegrina”, utilizando o ensaio BMP (*Biochemical Methane Potential*). A digestão anaeróbia de resíduos orgânicos, como as cascas de tangerina, cujo preparo é ilustrado na Figura 23, pode ser uma solução eficaz para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, transformando resíduos em biogás, que pode ser utilizado como energia térmica, elétrica ou combustível. Os resultados indicaram um potencial de geração de biogás de 615,38 NmL/gSV para a casca da tangerina “Ponkan” e 565,84 NmL/gSV para a casca da “Montenegrina”. Esses valores sugerem que a casca de tangerina tem um bom potencial para a produção de biogás, quando comparado com outras frutas descritas na literatura.

Figura 22 - Casca de tangerina tipo "Ponkan".



Fonte: Vieira (2020).

Figura 23 - Preparo da mistura substrato-lodo para digestão anaeróbia.



Fonte: Vieira (2020).

Silva et al. (2025), por meio de uma revisão bibliométrica baseada na base de dados Scopus e conduzida com o auxílio do software *VOSviewer*, analisaram 57 publicações sobre a produção de etanol a partir dos resíduos do abacaxi, entre os anos de 2013 e 2023. A análise considerou coautorias por país, frequência de palavras-chave e tendências temporais, revelando o crescimento expressivo da pesquisa nessa área e destacando o abacaxi como um resíduo viável para geração de energia limpa. Apesar do foco na fruta tropical não cítrica, os achados fornecem base comparativa e metodológica aplicável ao estudo de resíduos cítricos, como os da tangerina.

Reforçando essa aplicabilidade, Lima (2021) investigou o uso das cascas da tangerina ‘Ponkan’ (*Citrus reticulata* Blanco) como fonte para síntese de um catalisador heterogêneo utilizado na produção de biodiesel a partir de óleo de soja. O resíduo foi submetido à calcinação em três diferentes temperaturas (700 °C, 800 °C e 900 °C), sendo que a amostra calcinada a 700 °C (CT7) apresentou o maior rendimento em biodiesel (79,77%). A reação foi otimizada através do planejamento experimental D-Optimal, variando parâmetros como razão molar metanol/óleo, temperatura, tempo de reação e concentração do catalisador. As análises físico-químicas (DRX, FTIR, SEM-FEG, TPD-CO₂ e TG/DTG) confirmaram a presença de óxidos e carbonatos com atividade catalítica, além de estabilidade térmica e possibilidade de reutilização por até cinco ciclos. A conversão superior a 87% nas condições otimizadas atestou a viabilidade técnica do processo.

A comparação entre os dois estudos evidencia o vasto potencial dos resíduos frutíferos na geração de biocombustíveis, seja como substrato fermentável (no caso do abacaxi para etanol) ou como componente funcional em processos catalíticos (no caso da tangerina para biodiesel). Tal diversidade de aplicações amplia as possibilidades de inserção dos resíduos

cítricos no contexto da bioenergia, fortalecendo o argumento de que o reaproveitamento dessas biomassas contribui tanto para a valorização de subprodutos quanto para o avanço de tecnologias energéticas ambientalmente responsáveis. Dessa forma, a integração entre conhecimento científico e práticas sustentáveis mostra-se essencial para o desenvolvimento de uma economia circular mais eficiente no setor agroindustrial.

4.5.5. Outras aplicações

Diante do crescente risco de escassez hídrica e da intensificação da poluição por corantes industriais, o uso de resíduos agroindustriais como biossorventes tem se consolidado como uma alternativa sustentável e eficiente no tratamento de efluentes. Corantes sintéticos, amplamente utilizados nas indústrias têxtil, de papel, couro e cosméticos, apresentam elevada toxicidade, baixa biodegradabilidade e podem causar sérios danos aos ecossistemas aquáticos. Esses efeitos incluem a redução da penetração de luz, prejudicando a fotossíntese, e a toxicidade para a fauna aquática. Além disso, muitos corantes são potencialmente carcinogênicos ou mutagênicos, agravando a necessidade urgente de sua remoção antes do descarte dos efluentes (Castro et al., 2021).

Cabrini e Nardi (2020) exploraram uma alternativa ao biogás, ao focarem na produção de biocarvão a partir dos resíduos da laranja. O biocarvão obtido por pirólise da casca de laranja foi analisado por sua capacidade de adsorção, especialmente no tratamento de águas contaminadas. O estudo demonstrou que o biocarvão produzido a partir da casca de laranja foi altamente eficaz, retendo 99% do corante fucsina básica após 120 minutos de contato. Isso indica o grande potencial desse material como adsorvente em processos ambientais, além de ser uma solução sustentável para o reaproveitamento de resíduos agroindustriais. O biocarvão, com suas propriedades de alta área superficial e porosidade, pode ser utilizado em diversas outras aplicações, agregando valor aos resíduos da laranja.

Nesse contexto, Castro et al. (2021) avaliaram o potencial adsorativo das cascas e sementes do maracujá no tratamento de efluentes contaminados com o corante Vermelho Quimicryl GRL. Utilizando colunas de leito fixo e explorando variáveis como pH, força iônica e viabilidade de dessorção, o estudo revelou que a biomassa tratada com NaOH apresentou maior afinidade pelo corante, especialmente em pH alcalino (pH 12), com capacidade máxima de adsorção de 45,9 mg g⁻¹. Esse resultado indica que o resíduo de maracujá pode ser eficaz no tratamento de efluentes, desde que o processo seja otimizado com o uso de soluções adequadas e controle das condições físico-químicas.

Em complemento, Beltran et al. (2020) investigaram o uso das cascas de tangerina (*Citrus reticulata*) como bioissorvente para remoção do corante azul de metileno. Os resultados obtidos mostraram uma taxa de remoção superior a 90%, com capacidade máxima de adsorção de 100,73 mg g⁻¹, o que indica um potencial ainda mais expressivo para o tratamento de efluentes. A tangerina, portanto, mostrou ser uma alternativa altamente eficiente, com um desempenho superior ao do maracujá na remoção de corantes.

Embora os corantes analisados sejam distintos em natureza e estrutura química, ambos os estudos confirmam a eficácia dos resíduos de frutas como materiais adsorventes. Eles destacam a viabilidade de reaproveitamento de subprodutos agrícolas em processos de descontaminação ambiental, sendo uma alternativa promissora tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. O trabalho de Castro et al. (2021) se diferencia pela abordagem experimental mais detalhada, considerando a influência de parâmetros físico-químicos e a viabilidade de regeneração do adsorvente, enquanto o estudo de Beltran et al. (2020) reforça o alto desempenho da biomassa cítrica de forma mais direta. Juntos, esses trabalhos comprovam que resíduos como as cascas de maracujá e tangerina podem ser incorporados a tecnologias limpas e de baixo custo para o tratamento de efluentes. Essa abordagem contribui significativamente para mitigar a poluição hídrica, além de promover o uso racional de recursos naturais, alinhando-se aos princípios da sustentabilidade ambiental.

O poliestireno expandido (EPS) é um polímero amplamente utilizado em diversas indústrias, principalmente na embalagem de produtos alimentícios, construção civil e eletrônicos. Contudo, sua reciclagem permanece subutilizada, e o acúmulo desse material em aterros sanitários e ambientes naturais tem gerado preocupações ambientais significativas. O EPS, devido à sua estrutura química e baixo índice de biodegradabilidade, representa um grande desafio no que diz respeito à sua gestão e destinação adequada. O impacto ambiental causado pelo descarte inadequado de EPS é exacerbado pela lenta decomposição e pela acumulação do material, que pode persistir no meio ambiente por décadas (Santin et al., 2023).

Santin et al. (2023) desenvolveram uma tinta sustentável para construção civil e produção moveleira, utilizando resíduos de poliestireno expandido (EPS) como base polimérica e solventes naturais, como o óleo essencial de casca de laranja. A tinta foi formulada para superfícies de madeira, como MDF (painel de fibra de densidade média) e pau-marfim, com resinas e plastificantes poliméricos, como as borrachas termoplásticas ESBR (Borracha de Estireno-Butadieno por Emulsão), SIS (Estireno-Isopreno-Estireno), SBS (Estireno-Butadieno-Estireno) e SEBS (Estireno-Etileno-Butileno-Estireno), garantindo boa dispersão de pigmentos e compatibilidade com os solventes naturais. Os testes mostraram que o óleo de casca de laranja

é uma alternativa viável ao C9 aromático, e que o uso de ESBO (óleo de soja epoxidado) e SEBS (plastificante) não compromete a performance técnica e econômica da tinta. Os resultados indicaram que a tinta apresentou boa elasticidade, aderência ao substrato e acabamento de superfície, oferecendo uma solução ecológica para a indústria de revestimentos.

O avanço das discussões ambientais e a imposição de legislações mais rigorosas impulsionaram a busca por alternativas sustentáveis na indústria, especialmente em relação ao uso de surfactantes sintéticos, cujo descarte pode causar sérios impactos ambientais. Nesse contexto, os biossurfactantes emergem como uma solução promissora. Esses compostos são produzidos por microrganismos a partir da biodegradação de matérias-primas renováveis e se destacam por sua biodegradabilidade, baixa toxicidade e diversidade estrutural. No entanto, seu alto custo de produção ainda limita uma aplicação industrial mais ampla (Ehrhardt, 2015).

Com o objetivo de contornar essa limitação, Ehrhardt (2015) investigou a produção de biossurfactantes a partir da fermentação do resíduo do processamento do abacaxi, utilizando a bactéria *Bacillus subtilis* a 37 °C. O estudo explorou diferentes concentrações de glicose (1%, 3% e 5%) e também a adição de glicerol comercial (3%, 5% e 10%) para enriquecimento do meio. Os resultados mostraram que a melhor performance ocorreu com 5% de glicose (Figura 24) e sem adição de glicerol, alcançando redução da tensão superficial em 25% e índice de emulsão de 67%. No entanto, o biossurfactante produzido não apresentou estabilidade frente a condições extremas, como altas temperaturas, variações de pH (4 a 8) e elevadas concentrações de NaCl (até 20%). Mesmo com essas limitações, o uso de resíduos de abacaxi como substrato se mostra vantajoso economicamente e ambientalmente, reforçando o potencial dos biossurfactantes como alternativas viáveis aos surfactantes sintéticos.

Figura 24 – Imagens das amostras após produção de biossurfactantes com 5% de glicose.



Fonte: Ehrhardt (2015).

Diversos autores têm investigado o uso de resíduos de frutas cítricas como matéria-prima alternativa para a produção de bioplásticos, buscando soluções sustentáveis frente aos impactos ambientais do plástico convencional. Estradioto (2016) desenvolveu filmes plásticos biodegradáveis a partir da farinha da casca de maracujá, utilizando amido de milho e glicerol, por meio do método de *casting*. Os filmes obtidos apresentaram espessura adequada às normas técnicas (*American Society for Testing and Materials* – ASTM), boa opacidade e propriedades óticas satisfatórias, demonstrando o potencial da casca de maracujá como insumo agroindustrial viável.

De forma similar, Carrer (2024) utilizou as cascas de tangerina (bergamota) na formulação de bioplásticos, também combinando-as com amido de milho, plastificantes (glicerina e sorbitol) e ácido acético. A autora constatou que diferentes proporções influenciaram diretamente a plasticidade, translucidez e resistência dos bioplásticos, sendo o sorbitol mais eficaz na resistência mecânica que a glicerina. O trabalho evidenciou a viabilidade técnica e econômica do aproveitamento dos resíduos de bergamota, caracterizando-se como uma alternativa de baixo custo e rápida execução.

Por fim, Alcantara et al. (2024) propuseram a produção de bioplásticos com pectina extraída do bagaço do limão Tahiti combinada a fibras de coco. A pesquisa avaliou diferentes formulações e demonstrou que a simples utilização da pectina resultou em filmes frágeis, enquanto a combinação com fibras emaranhadas, como pode ser visto na Figura 25, proporcionou equilíbrio entre flexibilidade, resistência e eficiência na biodegradação. O trabalho destacou o potencial desses resíduos dentro do conceito de economia circular, com foco em propriedades estruturais e aplicações industriais.

Figura 25 - Resultado do teste das combinações.



Fonte: Alcantara et al. (2024).

Em síntese, os estudos de Estradioto (2016), Carrer (2024) e Alcantara et al. (2024) convergem na demonstração da viabilidade técnica da utilização de resíduos de frutas cítricas: maracujá, tangerina e limão Tahiti, respectivamente, como fontes alternativas para a produção de bioplásticos biodegradáveis. Esses resíduos se destacam por sua elevada disponibilidade e riqueza em compostos de interesse, como pectina, fibras celulósicas e amido, que conferem aos biopolímeros propriedades estruturais desejáveis. A casca da bergamota, por exemplo, é rica em pectina, um polissacarídeo natural com alto poder gelificante, enquanto o bagaço de limão e a casca do maracujá contêm fibras e materiais lignocelulósicos que agregam resistência e funcionalidade ao produto final. Assim, os bioplásticos obtidos a partir desses resíduos não apenas contribuem para a mitigação dos problemas relacionados ao descarte de resíduos sólidos urbanos e agrícolas, como também representam alternativas viáveis aos materiais convencionais, promovendo inovação científica e responsabilidade socioambiental.

5. Conclusão

Esta revisão bibliográfica permitiu constatar que resíduos gerados pelas indústrias de processamento de frutas cítricas e ácidas, muitas vezes descartados sem aproveitamento adequado, possuem elevado potencial para geração de valor, tanto na indústria de alimentos quanto nas indústrias farmacêutica, cosmética, energética e de nutrição animal. A reutilização dos resíduos do processamento de frutas cítricas emerge como uma solução estratégica para promover a sustentabilidade e a eficiência no uso de subprodutos na indústria alimentícia. Diversos estudos têm evidenciado o enorme potencial desses resíduos, que são ricos em compostos bioativos como fibras, óleos essenciais, compostos fenólicos, antioxidantes, entre outros nutrientes valiosos, que frequentemente são descartados de forma inadequada. O aproveitamento desses resíduos pode ocorrer de diversas formas, que incluem a formulação de ingredientes funcionais para alimentos humanos, insumos para alimentação animal, extração de compostos bioativos de interesse industrial e desenvolvimento de bioprodutos, como bioplásticos, bioenergia, corantes e tintas naturais.

Dessa forma, conclui-se que o reaproveitamento desses subprodutos de frutas cítricas e ácidas representa uma oportunidade promissora alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), e contribui significativamente para a economia circular, reduzindo a quantidade de resíduos orgânicos descartados em aterros sanitários e, conseqüentemente, minimizando os impactos ambientais relacionados à decomposição e à emissão de gases de efeito estufa. Além disso, ao transformar um passivo ambiental em um recurso de valor agregado, cria-se uma cadeia produtiva mais resiliente, inovadora e comprometida com os princípios do desenvolvimento sustentável. Por fim, observa-se que, para que o aproveitamento desses resíduos se consolide como prática recorrente na indústria e no meio científico, é fundamental o investimento em tecnologias de extração, políticas públicas de incentivo e parcerias entre setor produtivo, universidades e centros de pesquisa. Assim, o resíduo deixa de ser visto como um problema e passa a ser reconhecido como uma oportunidade promissora para diferentes aplicações, beneficiando não apenas a indústria, mas também a sociedade e o meio ambiente.

6. Referências

ABRAFRUTAS. **Painéis de Produção**. Disponível em: <https://abrafrutas.org/paineis-de-producao/>. Acesso em: 12 maio. 2025. AGÊNCIA FAPESP. **Método permite obter colorantes e enzimas de cascas de laranjas descartadas pela indústria de suco**. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/metodo-permite-obter-colorantes-e-enzimas-de-cascas-de-laranjas-descartadas-pela-industria-de-suco/50251>. Acesso em: 13 maio. 2025.

AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS. **Agregação de valor e articulação da cadeia de produção consolidam o mercado de acerola na Alta Paulista**. São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www.apta.sp.gov.br/noticias/>. Acesso em: 12 junho. 2025.

AGOSTINI-COSTA, T. S.; ABREU, L. N.; ROSSETTI, A. G. Efeito do congelamento e do tempo de estocagem de polpa de acerola sobre o teor de carotenoides. **Revista Brasileira de Fruticultura**, vol. 25, 2003.

AGROCERES MULTIMIX. **Exigências nutricionais para codornas na fase de produção**. Disponível em: <https://agroceresmultimix.com.br/blog/exigencias-nutricionais-para-codornas-na-fase-de-producao/>. Acesso em: 16 maio. 2025.

AGUILAR, C. M.; SOUZA, T. I. M.; BARBOSA, R. P. A.; OLIVEIRA, J. P.; VIEIRA, C. R. **Obtenção e caracterização de uma farinha da casca e do albedo de tangerina Ponkan (*Citrus reticulata* Blanco)**. Repositório Institucional da UFMG, 2021.

AIARROIO, J. A.; TEIXEIRA, L. A.; PENA, N. G.; BORIN, S. R. Escola técnica estadual prof. armando josé farinazzo centro paula souza. **Controle de pulgões (família aphididae) a partir da substância limoneno presente na casca da tangerina com aditivo de citrionelol**. 2024.

AJILA, C. M.; NAIDU, K. A.; BHAT, S.G.; PRASADA RAO, UJS. **Bioactive compounds and antioxidant potential of mango peel extract**. *Food Chemistry*, v. 105, p. 982–988, 2007. (Nota: embora o estudo seja sobre manga, ele é amplamente citado em pesquisas sobre aproveitamento de resíduos de frutas tropicais e pode ser usado com contextualização adequada.)

ALCANTARA, A. M. C.; SOUZA, A. G.; CAETANO, G. N.; GOMES, G. H. P.

Desenvolvimento de bioplástico a partir da pectina extraída do bagaço do limão tahiti (*Citrus latifolia*) com adição de fibra de coco. Trabalho de conclusão de curso - Escola Técnica Estadual Prof. Armando José Farinazzo Centro Paula Souza, 2024.

AZEVEDO, A. F. S. **Valorização de resíduo agroindustrial *Ananas comosus* para o incremento da produção de BioCH₄.** Lisboa: Universidade de Lisboa, 2018.

BABBAR, N.; OBEROI, H. S.; SANDHU, S. K. *Therapeutic and nutraceutical potential of bioactive compounds extracted from fruit residues. Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 55, n. 3, p. 319–337, 2015.

BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M. *Biological effects of essential oils – A review. Food and Chemical Toxicology*, v. 46, n. 2, p. 446–475, fev. 2008.

BANCAL, V.; RAY, R. C. **Visão geral da perda e desperdício de alimentos em frutas e vegetais: da questão aos recursos.** In: RAY, R. C. (org.). *Fruits and Vegetable Wastes*. Cingapura: Springer, 2022.

BARROS, H. R. DE M.; FERREIRA, T. A. P. DE C.; GENOVESE, M. I. *Antioxidant capacity and mineral content of pulp and peel from commercial cultivars of citrus from Brazil. Food Chemistry*, v. 134, n. 4, p. 1892–1898, out. 2012.

BELTRAN, L. B.; JANUARIO, E. F. D.; ARAUJO, L. A.; SOUZA, A. C.; MELONI, C. E. P.; MAGIERO, P. E.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, A. M. S. Processo de biossorção de corante utilizando casca de tangerina (*Citrus reticulata*). *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 6, p. 41760–41771, 2020.

BENAVENTE-GARCIA, O.; CASTILLO, J.; MARIN, F. R.; ORTUNO, A.; DEL RIO, J. A. *Uses and properties of citrus flavonoids. Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 45, p. 4505–4515, 1997.

BENELLI, P. **Agregação de valor ao bagaço de laranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck) mediante obtenção de extratos bioativos através de diferentes técnicas de extração.** 2010.

BRITO, K. D.; NETO, E. P.; BARROSO, A. J. R.; LIMA, F. C. S.; OLIVEIRA, H. B. L. **Elaboração e avaliação físico-química da farinha de cascas do limão Tahiti**. Atividades de Pesquisa em Biotecnologia e Nanociências, p. 26–32, 25 jun. 2019.

CABRINI, M. P.; CHIARADIA, N. Produção de biocarvão de resíduos de laranja aplicado como adsorvente no tratamento de águas contaminadas com o corante fucsina básica. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 12, p. 101028–101035, 2020.

CARRER, G. S. **Reaproveitamento da casca de bergamota (*Citrus reticulata*) na produção de bioplástico**. Anais da Mostra de Ensino, Extensão e Pesquisa do Campus Osório - MoExp, 2024.

CASTRO, M. C.; ALVES, E. S.; SAQUETI, B. H. F.; MONTANHER, S. F. **Uso dos resíduos de maracujá como adsorvente alternativo para a adsorção de corante**. *Research Society and Development*, v. 10, n. 14, p. e266101422059-e266101422059, 1 nov. 2021.

CAVALCANTE, F. R.; LÍBER, N. L.; COSTA, F. N. **Imunidade: a importância de uma alimentação adequada em tempos de pandemia**. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 14, e309101422177, 2021. Acesso em: 29 abr. 2025.

CDZ TECNOLOGIA. CEAGESP. 2018. Disponível em: <https://ceagesp.gov.br/hortiescolha/hortipedia/acerola/>. Acesso em: 15 maio. 2025.

CDZ TECNOLOGIA. CEAGESP. 2018. Disponível em: <https://ceagesp.gov.br/hortiescolha/hortipedia/tangerina/>. Acesso em: 15 maio 2025.

CHAVES, O. J. **Obtenção de extrato rico em compostos fenólicos da casca do limão (*Citrus limon L.*) usando métodos emergentes de extração e solventes alternativos**. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Aplicadas. 2022.

CHAVES, T. A. DE L. **Produção de petiscos para cachorro com farinha de resíduo industrial de processamento de acerola**. Ufpb.br, 2022.

Citrus World Statistics. Disponível em: <https://worldcitrusorganisation.org/activities/citrus-world-statistics/>. Acesso em: 12 maio 2025.

CLEMENTS, R. L. *Organic Acids in Citrus Fruits. I. Varietal Differences. Journal of Food Science*, v. 29, n. 3, p. 276–280, maio 1964.

COMPRES RURAL. **Ração concentrada é opção de nutrição de caprinos e ovinos** — CompreRural. Disponível em: <https://www.comprerural.com/racao-concentrada-e-opcao-de-nutricao-de-caprinos-e-ovinos/>. Acesso em: 15 maio. 2025.

COSTA, W. A. **Obtenção, caracterização e aplicação de solventes eutéticos profundos na extração de compostos fenólicos presentes no resíduo do abacaxi (Ananas comosus).** Ufpb.br, 2023.

CZECH, A.; ZARYCKA, E.; YANOVYCH, D.; ZASADNA, Z.; GRZEGORCZYK, I.; KTYS, S. *Mineral Content of the Pulp and Peel of Various Citrus Fruit Cultivars. Biological Trace Element Research*, v. 193, n. 2, p. 555–563, 27 abr. 2019.

DAMIANI, C.; MARTINS, G. A. D. S.; BECKER, F. S. **Aproveitamento de resíduos vegetais: potenciais e limitações.** 2020.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema.** 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

DIAS, J. D. S. R.; MENDES, F. Z. C.; NOLASCO, M. V. F. M.; BOGO, D. Obtenção de farinha de inhame para elaboração de barra de cereal como suplemento alimentar e funcional. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 3, p. 15716-15735, 2020.

DUDA-CHODAK, A.; TARKO, T. *Antioxidant properties of different fruit seeds and peels. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, v. 6, p. 29–36, 2007.

DURÁN-ARANGUREN, D. D.; VILLABONA, L. C. ; LOPEZ, G. D.; CARAZZONE, C.; SIERRA, R.; POSADA, J. A.; MUSSATTO, S. I. *Recovery of essential oils, polyphenols, fermentable sugars, and pectin from orange residues: Evaluation of extraction methodologies and characterization of value-added bioactive compounds. Separation and Purification Technology*, v. 359, p. 130590, 17 nov. 2024.

DUTRA, A. R.; QUEIROZ, A. C.; PEREIRA, J. C. Efeitos dos níveis de fibra e das fontes de proteínas sobre o consumo e digestão dos nutrientes em novilhos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 26, n. 4, p. 787–796, 1997.

EHRHARDT, Daniela Diniz. **Produção de biossurfactante por *Bacillus subtilis* utilizando resíduo do processamento do abacaxi como substrato**. 2015. 72 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, SP.

ESTRADIOTO, J. D. **Casca do maracujá: de resíduo a filme plástico biodegradável**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) – Campus Osório. Osório, RS, Brasil., 2016.

FAO. **Desperdício de alimentos tem consequências no clima, na água, na terra e na biodiversidade**. Disponível em: <http://www.fao.org.br/daccatb.asp>. Acesso em: 12 maio. 2025.

FERNANDES, J. B.; DAVID, V.; FACCHINI, P. H.; SILVA, M. F. G. F.; FILHO, E. R.; VIEIRA, P. C.; GALHIANE, M. S.; PAGNOCCA, F. C.; BUENO, O. C.; HEBLING, M. J.; VICTOR, S. R.; SANTOS, A. M. R. **Extrações de óleos de sementes de citros e suas atividades sobre a formiga cortadeira *Atta sexdens* e seu fungo simbiote**. Química Nova, v. 25, n. 6B, p. 1091–1095, 2002.

FERNANDES, M. **Produção Brasileira de Citros**. 2025. Disponível em: <https://ilsabrasil.com.br/producao-brasileira-de-citros>. Acesso em: 14 maio. 2025.

FERREIRA, L. A. A utilização de resíduos das agroindústrias de suco de abacaxi para a produção de bromelina. *Revista Sítio Novo*, v. 1, p. 247, 19 out. 2017.

FERREIRA, R. B. J.; LANA, G. R. Q.; LANA, S. R. V.; LEO, A. P. A.; AYRES, I. C. B.; SANTOS, D. S.; LIMA, L. A. A.; SILVA, W. A. Resíduo da polpa do maracujá como alimento alternativo para codornas europeias fêmeas. *Revista Ciência Agrícola*, v. 16, p. 9, 2018.

FERREIRA, T. E. S. **Produção de metano a partir de resíduos do beneficiamento da acerola**. Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2016.

FERREIRA, T. S.; LANA, S. R. V.; LANA, G. R. Q.; MADALENA, J. A.; SILVA, L. C. L.; TORRES, E. C. **Resíduo de acerola em dietas para codornas**. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v. 71, n. 1, p. 259–266, 2019.

FILHO, C.; SILVA, F.; SOUSA, F. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais na elaboração de subprodutos**. Apresentação: Comunicação Oral, 2017.

FILHO, W. B. DO N.; FRANCO, C. R. Avaliação do potencial dos resíduos produzidos através do processamento agroindustrial no Brasil. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 1968–1987, 3 jul. 2015.

FOGAGNOLI, G.; SERAVALLI, E. A. G. Aplicação de farinha de casca de maracujá em massa alimentícia fresca. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 3, p. 204–212, set. 2014.

FOUAD, H.; JAWAID, M.; KARIM, Z.; MERAJ, A.; ABU-JDAYIL, B.; NASEF, M.; SARMIN, S. N. *Preparation and characterization of carboxymethyl microcrystalline cellulose from pineapple leaf fibre*. *Scientific Reports*, v. 14, n. 1, 7 out. 2024.

GIANNUZZO, A. N.; NAZARENO, M. A.; MISHIMA, H. T.; MISHIMA, B. A. L. *Extracción de naringina de Citrus paradisi L.: estudio comparativo y optimización de técnicas extractivas*. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 20, n. 2, p. 257–261, 2000.

GLOBO RURAL. **Muito além do suco: conheça subprodutos da laranja**. Globo Rural, 22 jul. 2022. Disponível em: <https://globorural.globo.com/Noticias/Agricultura/Laranja/noticia/2022/07/muito-alem-do-suco-conheca-subprodutos-da-laranja.html>. Acesso em: 13 maio. 2025.

GOMES, C. **Impactos da expansão do agronegócio brasileiro na conservação dos recursos naturais**. *Cadernos do Leste*, v. 19, 2019. DOI: 10.29327/248949.19.19-4.

GORINSTEIN, S.; MARTIN-BELLOSO, O.; YONG-SEO, P.; HARUENKIT, R.; LOJEK, A.; CIZ, M.; CASPI, A.; LIBMAN, I.; TRAKHTENBERG, S. *Comparison of some biochemical characteristics of different citrus fruits*. *Food Chemistry*, v. 74, p. 309–315, 2001.

HE, F. J.; NOWSON, C. A.; MACGREGOR, G. A. *Fruit and vegetable consumption and stroke: meta-analysis of cohort studies*. *The Lancet*, v. 367, n. 9507, p. 320–326, jan. 2006.

IERVESE, F.; FLAMMINI, F.; D’ALESSIO, G.; NERI, L.; BRUNO, A.; IMENEO, V.; VALBONETTI, L.; MATTIA, C. D. D. *Flavonoid- and limonoid-rich extracts from lemon*

pomace by-products: Technological properties for the formulation of o/w emulsions. Food Bioscience, v. 59, p. 104030, 5 abr. 2024.

ISHIMOTO, F. Y.; HARADA, A. I.; BRANCO, I. G.; CONCEICAO, W. A. S.; COUTINHO, M. R. Aproveitamento alternativo da casca do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis f. var. flavicarpa Deg.*) para produção de biscoitos. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 9, n. 2, dez. 2007.

IWASSAKI, L. A. e STORER, M. L. P. **Quantificação e comparação dos teores de pectina nas diferentes partes e variedades de frutas cítricas**. 2005, Anais. São Paulo: USP, 2005.

JACOB, R. A.; BURRI, B. J. *Oxidative damage and defense. The American Journal of Clinical Nutrition*, v. 63, n. 6, p. 985S-990S, 1 jun. 1996.

JUNIOR, S. V. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais: uma abordagem sustentável**. 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 13 maio. 2025.

KOBORI, C. N.; JORGE, N. **Caracterização dos óleos de algumas sementes de frutas para aproveitamento de resíduos industriais**. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 29, n. 5, p. 1008–1014, 2005.

KOWALSKA, H.; CZAJKOWSKA, K.; CICHOWSKA, J.; LENART, A. *What's new in biopotential of fruit and vegetable by-products applied in the food processing industry. Trends in Food Science & Technology*, v. 67, p. 150–159, 2017.

KSIAŻEK, E. **Citric acid: Properties, microbial production, and applications in industries**. *Molecules*, v. 29, n. 1, p. 22–22, 19 dez. 2023.

LEANDRO-SILVA, E.; PIPI, A. R. F.; MAGDALENA, A. G.; PIACENTI-SILVA, M. *Application of Langmuir and Freundlich models in the study of banana peel as bioadsorbent of copper (II) in aqueous medium*. **Revista Materia**, p. 1-12, 2020.

LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.

- LEITÃO, Alexandra. Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. **Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting**, v. 1, n. 2, p. 149-171, 2015.
- LIMA, J. M.; SILVA, O. S. **Enriquecimento proteico de resíduos de frutas tropicais por cultivo semissólido**. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 5, p. e5311527791, 29 mar. 2022.
- LIMA, K. N.; DE OLIVEIRA, M. L.; FERREIRA, M. C. M. Análise sensorial e valor nutricional de pão sem glúten com farinha de casca de tangerina (*Citrus reticulata*). **SaBios: Revista de Saúde e Biologia**, v. 16, p. 1–13, 2021.
- LIMA, N. P. **Extração do óleo essencial das folhas e cascas do limão tahiti (*Citrus aurantifolia*) para produção de saneantes**. 31 mai. 2021.
- LIMA, P. C. C.; AVILA, R. G.; SILVA, D. V.; CARDOSO, P. F.; OLIVEIRA, M. D. Utilização de resíduo do processamento de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) na confecção de biscoito tipo língua de gato. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 8, n. 2S, 28 dez. 2014.
- LIMA, Ramoni Renan Silva de. **Produção do biodiesel de óleo de soja utilizando catalisador heterogêneo da cinza da casca da tangerina ‘Ponkan’ (*Citrus reticulata* Blanco)**. 2021. 91f. Dissertação (Mestrado em Química) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.
- LIMBERG, G.; KÖRNER, R.; BUCHHOLT, H. C.; CHRISTENSEN, T. M. I. E.; ROEPSTORFF, P.; MIKKELSEN, J. D. **Quantification of the amount of galacturonic acid residues in blocksequences in pectin homogalacturonan by enzymatic fingerprinting with exo- and endo-polygalacturonase II from *A. niger***. *Carbohydr. Res.*, v. 327, n. 3, p. 321-332, 2000b.
- LIVÂNIA, A. **Nanoencapsulação de compostos bioativos oriundos de resíduos do beneficiamento da acerola (*Malpighia* spp.)**. Repositorio.ufc.br, 2017.
- LOPES, J. M. S.; DÉO, T. F. G.; ANDRADE, B. J. M.; GIROTO, M.; FELIPE, A. L. S.; JUNIOR, C. E. I.; BUENO, C. E. M. S.; SILVA, T. F.; LIMA, F. C. C. Importância

econômica do citros no Brasil. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Londrina, ano 2011, n. 20, 3 p.

LUIZ, A. A. O.; SANTOS, M. B.; AZEREDO, E. M. Elaboração e análise sensorial de preparações a partir do aproveitamento integral de alimentos. **Revista da Associação Brasileira de Nutrição-RASBRAN**, v. 10, n. 2, p. 52-58, 2019.

MACÊDO, P. F. C.; LIMA, A. S. L.; FELIPE, A. T. M.; PAIVA, E. M. O.; MATSUI, K. N.; PEDRINI, M. R. S.; SALOMÃO, B. C. M. **Valorização de resíduos de acerola: uma abordagem sustentável para a obtenção de compostos bioativos com propriedades antioxidantes e antimicrobianas.** *Observatório de la economía latinoamericana*, v. 23, n. 1, p. e8838, 31 jan. 2025.

MAGALHÃES, M. P. D.; GANDRA, K. M. B.; CUNHA, L. R.; LIMA, E. M. F. **Obtenção da farinha do resíduo do processamento de acerola e avaliação de compostos bioativos e nutritivos.** *Research, Society and Development*, v. 10, n. 14, artigo e188101420714, 2021.

MAHATO, N.; SHARMA, K.; SINHA, M.; BARAL, E. R.; KOTESWARARAO, R.; DHYANI, A.; CHO, M. H.; CHO, S. *Bio-sorbents, industrially important chemicals and novel materials from citrus processing waste as a sustainable and renewable bioresource: A review.* **Journal of Advanced Research**, v. 23, p. 61–82, maio 2020.

MAQBOOL, Z.; KHALID, W.; ATIQ, H. T.; KORAQI, H.; JAVAID, Z.; ALHAG, S. K.; AL-SHURAYM, L. A.; BADER, DMD; ALMARZUQ, M.; AFIFI, M.; AL-FARGA, A. **Citrus Waste as Source of Bioactive Compounds: Extraction and Utilization in Health and Food Industry.** *Molecules*, v. 28, n. 4, p. 1636, 8 fev. 2023.

MARQUES, T. R. **Aproveitamento tecnológico de resíduos de acerola: Farinhas e Barras de Cereais.** Universidade Federal de Lavras, 2013.

MELO, H. T. **Uso de subprodutos na nutrição animal.** 2021. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2021.

MITSUHARA, A. T.; MORAES, J. C.; CRESTANI, C. E. **Caracterização química do bagaço de laranja: potencial rota para uso desse resíduo.** *Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB*, 4 jul. 2023.

- MORETTI, C. M.; MACHADO, C. M. M. Aproveitamento de resíduos sólidos do processamento mínimo de frutas e hortaliças. Em: **Encontro nacional sobre processamento mínimo de frutas e hortaliças. Palestras, resumos, fluxogramas e oficinas**. Piracicaba: USP/ESALQ, 2006. p. 25-32.
- MOULY, P. P.; GAYDOU, E. M.; ARZOUYAN, C. *Separation and quantification of orange juices using liquid chromatography polymethoxylated flavones*. *Analisis*, v. 27, p. 284–288, 1999.
- MOURÃO, R. C.; PANCOTI, C. G.; MOURA, A. M.; FERREIRA, A. L.; BORGES, A. L. C. C.; SILVA, R. R. **Processamento do milho na alimentação de ruminantes**. *Pubvet*, v. 6, n. 5, ed. 192, art. 1292, 2012.
- NAIDU, K. A. *Vitamin C in human health and disease is still a mystery? An overview*. *Nutrition Journal*, v. 2, n. 1, 21 ago. 2003.
- NUTRINEWS, F. **Ingestão de proteína e energia no crescimento de tilápia do Nilo**. Disponível em: <https://nutrinews.com/pt-br/ingestao-de-proteina-e-energia-no-crescimento-de-tilapia-do-nilo/>. Acesso em: 15 maio. 2025.
- OLIVEIRA, L. C.; SANTOS, J. A. B.; NARAIN, N.; FONTES, A. S.; CAMPOS, R. S. S.; SOUZA, T. L. **Caracterização e extração de compostos voláteis de resíduos do processamento de maracujá (*Passiflora edulis Sims f. flavicarpa degener*)**. *Ciência Rural*, v. 42, n. 12, p. 2280–2287, 2 out. 2012.
- OOGHE, W. C.; DETAVERNIER, C. M. *Detection of the addition of Citrus reticulata and hybrids to Citrus sinensis by flavonoids*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 45, p. 1633–1637, 1997.
- ORSO, V. T.; RODRIGUES, W. L.; CORT, J. D.; ZANETTI, M.; COLPANI, G. L.; ZEFERINO, R. C. F. **Obtenção e Caracterização do Óleo Essencial de Laranja Obtido a Partir de Resíduos de Citrus sinensis “Valencia”**. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 9, p. e34211931876, 11 jul. 2022.
- PADAYATTY, S. J. et al. *Vitamin C as an antioxidant: evaluation of its role in disease prevention*. *Journal of the American College of Nutrition*, v. 22, n. 1, p. 18–35, 2003.

PAINE, R. **DDG e WDG na alimentação de bovinos**. 2016. Disponível em: <https://nutrimosaic.com.br/ddg-e-wdg-na-alimentacao-de-bovinos/>. Acesso em: 28 maio. 2025.

PARMAR, A. *Is waste peel the future material for green 3D printing?* Disponível em: <https://www.3ders.org/articles/20131130-is-waste-peel-the-future-material-for-green-3d-printing.html>. Acesso em: 13 maio 2025.

PEIXOTO, E. L. T. **Polpa cítrica em dietas para cordeiros**. 2011. 90 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

PEREIRA, S. M. **Resíduos de laranja como fonte de enzimas e compostos bioativos**. *UNESP*, S. 17 fev. 2017.

PINHÃO, R. L.; PAIVA, J. P. V.; TAVARES, F. M. M.; WILLI, L. M. V. Valores séricos de glicose, triglicerídeos e colesterol em cães (*Canis familiaris*) com sobrepeso, suplementados na dieta com fibra de maracujá (*Passiflora edulis*). **Revista Eletrônica Novo Enfoque**, 2010, v. 09, n. 09, p. 56 – 63.

PINHEIRO, A. G. S.; SOARES, H. H. D.; DELGADO, M. K. M.; SATIRO, T. M.; COSTA, T. S.; SABBAG, O. J.; TAKAHASHI, L. S. **Análise de eficiência da inclusão de resíduo de maracujá em dietas de tambaqui (*Colossoma macropomum*) utilizando o método de análise envoltória de dados**. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, v. 23, n. 1, p. e8672, 2025.

PRADO, L. **Resíduo de acerola é alternativa sustentável para conservação de alimentos**. Disponível em: <https://jornal.usp.br/?p=482047>. Acesso em: 13 maio. 2025.

RAFIQ, S.; KAUL, R.; SOFI, S. A.; BASHIR, N.; NAZIR, F.; NAYIK, G. A. *Citrus peel as a source of functional ingredient: A review*. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 17, n. 4, p. 351–358, out. 2018.

REDA, S. Y.; LEAL, E. S.; BATISTA, E. A. C.; BARANA, A. C.; SCHNITZEL, E.; CARNEIRO, P. I. B. **Caracterização dos óleos das sementes de limão rosa (*Citrus limonia* Osbeck) e limão siciliano (*Citrus limon*), um resíduo agroindustrial**. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 25, n. 4, p. 672–676, 2005.

REDD, James Beverly; HENDRIX, Donald Lee; HENDRIX, Charles Marion. ***Quality Control Manual for Citrus Processing Plants***. Flórida: Intercit, 1986. 250 p.

RODRIGUES, V. **Casquinhas cristalizadas de laranja e limão | E a morfologia da laranja**. Disponível em: <http://asreceitasdoblogdovictor.blogspot.com/2019/06/casquinhas-cristalizadas-de-laranja-e.html>. Acesso em: 16 maio. 2025.

ROGÉRIO, M. C. P.; BORGES, I.; NEIVA, J. N. M.; RODRIGUEZ, N. M.; PIMENTEL, J. C. M.; MARTINS, G. A.; RIBEIRO, T. P.; COSTA, J. B.; SANTOS, S. F.; CARVALHO, F. C. **Valor nutritivo do resíduo da indústria processadora de abacaxi (*Ananas comosus* L.) em dietas para ovinos**. 1. Consumo, digestibilidade aparente e balanços energético e nitrogenado. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v. 59, n. 3, p. 773–781, 2007.

ROSS, A. C. ; TAYLOR, C. L.; YAKTINE, A. L.; VALLE, H. B. D. ***Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D***. Washington, DC: National Academies Press, 2011.

RRPOLPAS. **Sabores**. Disponível em: <https://www.rrpoldpas.com.br/sabores/>. Acesso em 12 junho.2025.

SANTIN, C. K.; ROCHA, T. L. A. de C.; GEHM, G. O. S.; SCHWADE, P. V. Produção de tinta com resíduos de casca de laranja e poliestireno expandido (EPS). ***Revista delos***, [S. l.], v. 16, n. 47, p. 2705–2718, 2023.

SANTOS, C. M.; DWECK, J.; VIOTTO, R. S.; ROSA, A. H.; MORAIS, L. C. ***Application of orange peel waste in the production of solid biofuels and biosorbents***. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/131137>. Acesso em: 13 maio. 2025.

SANTOS, E.; INOCENCIO, C.; SILVA, D. F.; LIMA, M. R. **Resíduo de maracujá (*Passiflora edulis*) em rações para tilápia do Nilo**. Conjecturas, v. 22, n. 9, p. 147–163, 2022.

SANTOS, L. A.; SANTOS, A. F. F. M. S.; VALENÇA, R. B.; JUCÁ, J. F. T.; OLIVEIRA, C. R. M. Produção de biogás a partir de bagaço de laranja. ***Revista Geama***, p. 22–27, 28 set. 2018.

SCHIEBER, A.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. *Byproducts of plant food processing as a source of functional compounds: recent developments*. *Trends in Food Science and Technology*, v. 12, p. 401–413, 2001.

SCHNEIDER, Anselm. Reflexivity in Sustainability Accounting and Management: Transcending the Economic Focus of Corporate Sustainability. **Journal of Business Ethics**, [s.l.], v. 127, n. 3, p.525-536, 24 jan. 2014. Springer Nature.

SCHROEDER, J. **Kombucha fermentada a partir de resíduo de acerola**. [S. l.]: UFSC, 2019.

SEFFRIN, D. C. **Avaliação do potencial antioxidante do extrato da coroa do abacaxi obtido por diferentes métodos de extração**. Utfpr.edu.br, 2017.

SHARMA, S.; SHARMA, U.; SHARMA, N.; RANA, V. S.; THAKUR, S.; KUMAR, A.; KUMAR, R. *Exploring the valorization of fruit bio-waste for sustainable utilization in agro-food industries: A comprehensive review*. **Food Bioscience**, p. 105768–105768, 1 dez. 2024.

SILVA, A. F. **Potencial funcional e perfis de compostos fenólicos, carotenóides e fibras de cultivares de laranjas e tangerinas e conservação pós-colheita da tangerina 'Dancy' da citricultura familiar**. 2021. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021.

SILVA, A. F. V.; SANTOS, L. A.; VALENÇA, R. B.; PORTO, T. S.; SOBRINHO, M. M.; GOMES, G. J. C.; JUCÁ, J. F. T.; SANTOS, A. F. M. S. *Cellulase production to obtain biogas from passion fruit (*Passiflora edulis*) peel waste hydrolysate*. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, n. 6, p. 103510, 2019.

SILVA, D. I. S. **Estudo da transferência de calor e massa na secagem em leito fixo visando o aproveitamento de resíduo de acerola (*Malpighia Emarginata* DC)**. 2015. 252 f. Tese (Doutorado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

SILVA, J. D.; SANTOS, P. F. T.; CARVALHO, I. A. O.; NETO, J. A. C.; SANTOS, C. A. **C.Potencial do etanol de resíduos de abacaxi**. P2P E INOVAÇÃO, v. 11, n. 2, 28 jan. 2025.

SILVA, P. B. **Secagem de resíduos de frutas em secador roto-aerado**. Dissertação de mestrado. UFU. Uberlândia, MG. 2014.

SILVEIRA, K. G. **Caracterização físico-química e bioacessibilidade de compostos fenólicos de sucos e cascas de laranja e limão**. 2019. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

SOARES, A. P. C.; SOUZA, T. C. M.; FARIA, N. C.; SANTOS, A. L. S.; GRACIANO, G. F.; MINIGHIN, E. C. **Alimentos com propriedades funcionais e de saúde: evidências e pretensos efeitos**. Edifes, 2023.

SOUSA, M. S. B. ; VIEIRA, L. M.; SILVA, M. J. M.; LIMA, A. **Caracterização nutricional e compostos antioxidantes em resíduos de polpas de frutas tropicais**. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 3, p. 554–559, jun. 2011.

SOUZA, L. A. ; HUNALDO, V. K.; SANTOS, L. N.; SANTOS, L. H. Desenvolvimento de barra de cereal à base de farinha de casca de maracujá. *Brazilian Journal of Production Engineering*, v. 9, n. 4, p. 140–147, 31 out. 2023.

SOUZA, L. S.; JUNIOR, N. M. A.; LIMA, D. A.; AMORIM, T. A.; SILVA, A. B. M.; VILAR, S. B. O.; PACHECO, C. S. G. R.; ARAUJO, A. J. B. **Aproveitamento do resíduo agroindustrial de abacaxi submetido ao processo de secagem para elaboração de barra de cereais**. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 14, p. e33101421713, 24 out. 2021.

SPOLIDORO, S. L.; MARCZAK, L. D. F. Aplicação de Tecnologias Emergentes na Extração de Compostos Bioativos do Resíduo de Acerola (*Malpighia emarginata*). **SIC - XXVII Salão de iniciação científica da UFRGS**, 2015.

TERESA, M. J. C. G.; RIBEIRO, M. H. G.; ALMEIDA, I. R.; ZILE, C. B.; SILVA, M. C. A. **XI-265 - Geração de biogás e biometano através da digestão anaeróbia de resíduos de casca de laranja em diferentes formatos**. 32 Congresso da ABES, 2023.

THAMARA MENDONÇA. **Importância da fibra na nutrição de ruminantes** — CompreRural. Disponível em: <https://www.comprerural.com/fibra-na-nutricao-de-ruminantes/>. Acesso em: 15 maio. 2025.

TOZATTI, P.; RIGO, M.; BEZERRA, J. R. M. V.; CORDOVA, K. R. V.; TEIXEIRA, A. M. Utilização de resíduo de laranja na elaboração de biscoitos tipo cracker. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 15, n. 1, jun. 2013.

UENOJO, M. **Produção e caracterização de aromas de frutas por microrganismos pectinolíticos utilizando-se resíduos agroindustriais**. 2006. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

UNICAMP. **Técnica extrai pectina da casca do maracujá com mais eficiência e sem solventes tóxicos**. 17 mar. 2023. Disponível em: <https://unicamp.br/unicamp/noticias/2023/03/17/tecnica-extrai-pectina-da-casca-do-maracuja-com-mais-eficiencia-e-sem-solventes>. Acesso em: 15 maio 2025.

UNICAMP. **Tecnologia criada na Unicamp agrega valor às cascas de laranja**. 2023. Disponível em: <https://unicamp.br/unicamp/noticias/2023/04/13/tecnologia-criada-na-unicamp-agrega-valor-cascas-de-laranja/>. Acesso em: 13 maio. 2025.

VAN SOEST, P. J. *Nutritional ecology of the ruminant*. Ithaca, NY: Cornell University Press, 1994. 476 p.

VELEBIL, J.; TAMELOVÁ, B.; MALAŤÁK, J. *Energy valorisation of citrus peel waste by torrefaction treatment*. *Agronomy Research*, v. 16, n. 1, p. 276–285, 1 jan. 2018.

VICENTE. Abacaxizeiro (ananas comosus l., merril) tecnologias de plantio e utilização. [s.l.] **Revista Eletrônica A Barriguda - AREPB**, 2023.

VIEIRA, R. **Tratamento de resíduos sólidos orgânicos: análise do potencial de geração de biogás proveniente da digestão anaeróbia da casca de tangerina**. [S. l.], 17 set. 2020.

VILAR, D. **Produção de Abacaxi: Do Plantio à Colheita**. 2023. Disponível em: <https://abacaxi.com/>. Acesso em: 16 maio. 2025.

VILELA, S. **Potencial prebiótico e utilização do albedo de maracujá em novos produtos**. Portal e-food | Tudo sobre Segurança de Alimentos. Disponível em: <https://portalefood.com.br/artigos/potencial-prebiotico-e-utilizacao-do-albedo-de-maracuja-em-novos-produtos/>. Acesso em: 15 maio. 2025.

VIUDA-MARTOS, M.; RUIZ-NAVAJAS, Y.; FERNANDEZ-LOPEZ, J.; PEREZ-ALVAREZ, J. A. *Antibacterial activity of lemon (Citrus Lemon L.), mandarin (Citrus Reticulata L.), grapefruit (Citrus Paradisi L.) and orange (Citrus Sinensis L.) essential oils. Journal of Food Safety*, v. 28, n. 4, p. 567–576, 22 out. 2008.

WING, J. M. *Citrus feedstuffs for dairy cattle*. Gainesville: Florida Agricultural Experimental Station, 1982. (Bulletin, 829).

XAVIER, M. C. C.; COSTA, R. G.; SILVA, J. H. V.; CARVALHO, F. F. R.; MEDEIROS, A. N. Utilização de resíduo agroindustrial de abacaxi desidratado em dietas para caprinos em crescimento: digestibilidade e desempenho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 4 supl., p. 1822–1828, 2006.

XAVIER, R. D. F.; XAVIER, M. D. F.; MANIÇOBA, A.; NASCIMENTO, M. H. S. Elaboração de doce de leite sem lactose saborizado com resíduo agroindustrial de limão. Em: **V Encontro Nacional da Agroindústria**, 2019, Bananeiras. Anais [...]. Bananeiras: UFRN, 2019.

ZHENG, Z.; SHETTY, K. *Solid state production of polygalacturonase by *Lentinus edodes* using fruit processing wastes*. *Process Biochem.*, v. 35, n. 8, p. 825-830, 2000.