



Resíduo de *Passiflora Edulis* F. *Flavicarpa* como Fonte Sustentável de Biopolímeros com Aplicabilidade para Couro Vegetal

Residue of Passiflora Edulis F. *Flavicarpa* as a Sustainable Source of Biopolymers

Ilka Djanira Ferreira do Nascimento

Programa de Pós-graduação em Biotecnologia - (RENORBIO) - UFRPE. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5575-7578>

Adriana Ferreira de Souza

Centro Multiusuário de Análise e Caracterização de Biomoléculas e Superfície de Materiais, CEMACBIOS, MCTI. Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9527-2206>

Galba Maria de Campos-Takaki

Escola ICAM TECH; Centro Multiusuário de Análise e Caracterização de Biomoléculas e Superfície de Materiais-CEMACBIOS, MCTI/UNICAP. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0519-0849>.

Resumo: Os resíduos da cadeia produtiva do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*), particularmente a casca rica em pectina, celulose e compostos bioativos, têm sido amplamente investigados como matéria-prima para produção de biopolímeros com aplicabilidade para couros vegetais. Este artigo integra evidências sobre origem e panorama produtivo do maracujá no Brasil, caracterização físico-química das frações do fruto, rotas de extração, processamento e aplicação de biopolímeros, com ênfase em filmes à base de amido de mandioca e o possível uso de látex natural como aditivo. Adicionalmente, contrastam-se os impactos ambientais do couro bovino e dos plásticos petroquímicos com alternativas de baixo carbono, como materiais miceliais e compósitos lignocelulósicos, discutindo políticas públicas e ODS, além de aplicações em embalagens sustentáveis, saúde, nutrição funcional e biorremediação. Revisão confirma a transformação do descarte de resíduos vegetais, agregando valorização da casca de maracujá, forte aderência à bioeconomia circular, redução dos passivos ambientais e possibilidade de criação de novas cadeias produtivas de valor regional.

Palavras-chave: passiflora; couro vegetal; economia circular.

Abstract: Waste from the yellow passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) production chain, particularly the peel rich in pectin, cellulose, and bioactive compounds, has been extensively investigated as a raw material for the production of biopolymers with applicability to vegetable leathers. This article integrates evidence on the origin and production landscape of passion fruit in Brazil, physicochemical characterization of fruit fractions, extraction routes, processing, and application of biopolymers, with emphasis on cassava starch-based films and the possible use of natural latex as an additive. Additionally, the environmental impacts of bovine leather and petrochemical plastics are contrasted with low-carbon alternatives, such as mycelial materials and lignocellulosic composites, discussing public policies and SDGs, as well as applications in sustainable packaging, health, functional nutrition and bioremediation. The review confirms the transformation of vegetable waste disposal, adding value to passion fruit peel, strong adherence to the circular bioeconomy, reduction of environmental liabilities, and the possibility of creating new regional value production chains.

Keywords: Passiflora; plant-based leather; circular economy.

INTRODUÇÃO

O avanço da industrialização e o aumento populacional nas últimas décadas intensificaram expressivamente a geração de resíduos sólidos urbanos e industriais. Entre esses resíduos, os plásticos sintéticos destacam-se por sua ampla utilização, baixo custo e alta resistência. Entretanto, a natureza recalcitrante desses polímeros de origem petroquímica constitui uma ameaça crescente ao equilíbrio ambiental, devido à sua lenta degradação e às dificuldades inerentes ao gerenciamento de seu descarte (Jambeck *et al.*, 2015). Calcula-se que apenas cerca de 15% do total de plásticos produzidos seja efetivamente reciclado, enquanto aproximadamente 90 milhões de toneladas anuais são descartadas de forma inadequada no ambiente (Lau *et al.*, 2020). Esse panorama impõe à comunidade científica e à sociedade o desafio de desenvolver alternativas sustentáveis que substituam os materiais convencionais e reduzam seus impactos ecológicos.

Nesse cenário, os biopolímeros emergem como substitutos promissores aos polímeros sintéticos, sobretudo por poderem ser obtidos a partir de fontes renováveis, incluindo resíduos da agroindústria. A bioeconomia circular, enquanto modelo produtivo voltado à sustentabilidade, tem favorecido a valorização de subprodutos agrícolas como matéria-prima para novos materiais com menor pegada ambiental, promovendo a inovação tecnológica e a mitigação de passivos ecológicos (Wagh *et al.*, 2024; Yaashikaa; Senthil Kumar; Varjani, 2022).

O Brasil, principal produtor mundial de maracujá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*), é responsável por cerca de 70% da produção global, o que resulta em grandes volumes de resíduos agroindustriais, especialmente cascas e sementes, provenientes do processamento do fruto para fins alimentares e industriais (IBGE, 2024; Soares, 2024). A casca, que pode corresponder a até 50% do peso total do maracujá, é frequentemente descartada sem aproveitamento, contribuindo para a sobrecarga dos sistemas de resíduos e a poluição ambiental (Macedo *et al.*, 2023; Teles *et al.*, 2023). Contudo, essa biomassa apresenta elevado teor de pectina, fibras, flavonoides e carotenoides, sendo considerada uma matriz lignocelulósica promissora para a obtenção de biopolímeros (He *et al.*, 2020; Reis *et al.*, 2018).

Diferentes abordagens têm sido aplicadas para converter a casca de maracujá em materiais biodegradáveis, como bioplásticos e couros vegetais. A produção de biocompósitos a partir dessa biomassa, associada a plastificantes naturais (ex.: glicerol) e aditivos como fécula de mandioca e látex natural, tem apresentado resultados encorajadores quanto às propriedades mecânicas, térmicas e funcionais dos materiais produzidos (Freitas *et al.*, 2024; Lima *et al.*, 2023; Tarique; Sapuan; Khalina, 2021). Esses avanços comprovam a viabilidade técnica e econômica do uso desse resíduo agroindustrial, reforçando seu potencial estratégico como substituto de polímeros derivados de fontes fósseis.

O desenvolvimento de biomateriais a partir da casca de maracujá está diretamente alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente os ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e 12 (Consumo e Produção Responsáveis). Essa abordagem estimula a valorização de resíduos, a economia circular e a inovação ambientalmente consciente (Nações Unidas Brasil, 2025; PNUD, 2025). Além disso, o aproveitamento de subprodutos agrícolas como insumos para novos materiais favorece a geração de renda, a inclusão produtiva e o fortalecimento das cadeias locais de produção, notadamente em regiões com forte vocação agrícola, como o Nordeste brasileiro

METODOLOGIA

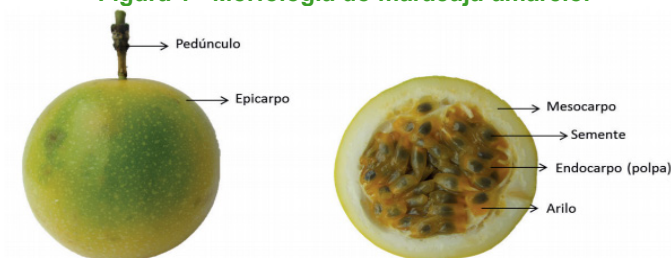
Realizou-se uma revisão narrativa integrativa com busca e seleção de artigos, relatórios e documentos de políticas públicas publicados majoritariamente entre 2010 e 2024, incluindo bases indexadas. O foco recaiu sobre estudos com caracterização físico-química, avaliação de desempenho de materiais, ACV/LCA (Avaliação do Ciclo de Vida/ Life Cycle Assessment) e aplicações tecnológicas relacionadas a resíduos de maracujá e biopolímeros correlatos.

PASSIFLORA SPP

O maracujá (gênero *Passiflora*, família Passifloraceae) é nativo da América tropical, com >500 espécies distribuídas em regiões tropicais e subtropicais. O Brasil lidera a produção mundial, com destaque para a região Nordeste. Entre as espécies de interesse destacam-se *P. edulis* (var. *flavicarpa* – maracujá-amarelo; *f. edulis* – roxo/gulupa), *P. alata* (maracujá-doce), *P. ligularis* (granadilla) e *P. mollissima* (maracujá-banana) (Costa *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, 2023).

O maracujá-amarelo concentra a maior destinação industrial. O maracujá-amarelo é composto basicamente de epicarpo ou casca, mesocarpo, arilo carnoso, endocarpo ou polpa e semente, conforme mostra a figura 1.

Figura 1 - Morfologia do maracujá-amarelo.



Fotos: Onildo Nunes de Jesus

Figura 4. Detalhe de um fruto de *Passiflora edulis* Sims.

Fonte: Vilar, 2022.

O fruto compreende epicarpo/casca, mesocarpo, arilo carnoso, endocarpo/polpa e sementes. A casca apresenta altos teores de pectina e minerais; a polpa é ácida e aromática; sementes concentram lipídios e compostos fenólicos. Diversos estudos reportam distribuição de fibras, carboidratos, lipídios, ácidos orgânicos, polifenóis, carotenoides e flavonoides (Bueno *et al.*, 2007). A tabela 1, a apresenta os principais dados obtidos por Reis *et al.* (2018) referentes à composição físico-química e à atividade antioxidante do maracujá amarelo.

Tabela 1 – Composição físico-química e atividade antioxidante do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) – Reis *et al.* (2018).

| Parâmetro | Polpa | Casca | Semente |
|-----------------------------------------|---------|---------|---------|
| Sólidos solúveis (°Brix) | 10,3 | – | – |
| Acidez titulável (g ácido cítrico/100g) | 3,68 | – | – |
| pH | 3,29 | – | – |
| Pectina total (g/100g) | – | 37,4 | – |
| Cinzas (g/100g) | 0,35 | 5,13 | 5,83 |
| Fibras totais (g/100g) | 0,65 | 21,68 | 27,79 |
| Fenólicos totais (mg EAG/100g) | 56,6 | 42,3 | 34,2 |
| Flavonoides totais (mg EQ/100g) | 14,9 | 17,6 | 18,3 |
| Antocianinas totais (mg/100g) | n.d. | 8,3 | 6,2 |
| β-caroteno (µg/100g) | 1.430,1 | 2.267,3 | 2.427,3 |
| Quercetina (µg/100g) | 168,9 | 98,4 | 88,2 |
| Kaempferol (µg/100g) | 156,6 | 66,4 | 74,8 |
| DPPH (µmol TE/g) | 14,23 | 13,52 | 12,97 |
| ABTS (µmol TE/g) | 19,84 | 18,47 | 17,59 |

Resíduos do Maracujá

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2022 foram produzidas aproximadamente 697.859 toneladas de maracujá em todo o território nacional. Desse total, a região Nordeste respondeu por cerca de 486.893 toneladas, o que corresponde a quase 70% da produção brasileira. Entre os estados, Bahia e Ceará destacam-se como os principais produtores do país (IBGE, 2024). Aproximadamente 70% dos subprodutos do processamento do suco de maracujá (cascas, sementes, polpas residuais) são descartados. A casca pode representar 50–79% do fruto e é rica em pectina, celulose e hemicelulose, além de compostos bioativos. A Tabela 2 apresenta estudos que reportam os valores médios percentuais de lipídios, proteínas, cinzas e carboidratos determinados em farinhas obtidas da casca do maracujá-amarelo. Estudos recentes reportam aplicações em pectina, celulose, aditivos alimentares, prebióticos, biossorbentes, biodiesel e filmes biodegradáveis.

Tabela 2 – Valores percentuais aproximados da composição de farinhas de casca de maracujá-amarelo.

| Lípidios | Proteínas | Cinzas | Carboidratos | Referência |
|----------|-----------|--------|--------------|----------------------------------------|
| 1,24 | 2,13 | 7,28 | 89,33 | Macedo <i>et al.</i> , 2023 |
| 0,54 | 7,53 | 8,07 | 20,05 | Alves <i>et al.</i> , 2018 |
| 0,63 | – | 1,95 | – | Oliveira da Silva <i>et al.</i> , 2016 |
| 1,18 | 3,9 | 4,84 | – | Hernández-Santos <i>et al.</i> , 2015 |
| 0,31 | 3,94 | 6,88 | 79,39 | Cazarin <i>et al.</i> , 2014 |

Fonte: autoria própria, 2025.

A valorização da casca de maracujá impulsiona a criação de novas cadeias produtivas sustentáveis, promovendo benefícios socioeconômicos para agricultores familiares e cooperativas, que passam a comercializar esse resíduo agroindustrial. No contexto brasileiro, o alinhamento com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) fortalece iniciativas voltadas à integração de resíduos agrícolas e industriais à bioeconomia, estimulando práticas de produção mais circulares e inclusivas.

Aplicações de Biopolímeros de Casca de Maracujá

Os biopolímeros obtidos da casca do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) têm despertado crescente interesse científico por aliar a disponibilidade de biomassa, propriedades funcionais e aderência aos princípios da bioeconomia circular. Ricos em pectina, celulose e compostos bioativos, esses resíduos agroindustriais podem originar materiais de alto valor agregado, aplicáveis em embalagens sustentáveis, saúde, nutrição funcional e remediação ambiental (Teles *et al.*, 2023). Entre as aplicações mais consolidadas destaca-se a produção de filmes biodegradáveis, nos quais a pectina isolada da casca forma membranas flexíveis e com boas propriedades de barreira. Associada a plastificantes naturais (como glicerol) e a polímeros como quitosana ou carboximetilcelulose, a pectina resulta em filmes com melhor resistência, flexibilidade e biodegradabilidade, contribuindo para a substituição de plásticos petroquímicos por alternativas renováveis (Deng *et al.*, 2025; Henao-Díaz *et al.*, 2021; Khairuddin *et al.*, 2023; Nguyen *et al.*, 2022).

A tabela 3 reúne as principais aplicações e potenciais usos biotecnológicos de biopolímeros extraídos da casca do maracujá.

Tabela 3 – Aplicações biotecnológicas de biopolímeros da casca de maracujá.

| Aplicação | Matéria-prima extraída | Propriedades |
|----------------------|------------------------|----------------------------------------------|
| Embalagens/filmes | Pectina | Barreira a gases/umidade; biodegradabilidade |
| Materiais funcionais | Farelo | Atividade prebiótica; ação sobre enzimas |
| Sensores | Carbon dots | Propriedades físicas e ópticas |

| Aplicação | Matéria-prima extraída | Propriedades |
|-----------------------|-------------------------|---------------------------------------------|
| Aplicações biomédicas | Extrato/polissacarídeos | Antioxidante; cicatrizante; compatibilidade |
| Nutrição funcional | Compostos encapsulados | Estabilidade GI; efeitos terapêuticos |
| Biorremediação | Farelo | Alta remoção de metais pesados |

Fonte: autoria própria, 2025.

COURO VEGETAL

A indústria coureira, tradicionalmente baseada no uso de matérias-primas de origem animal e, mais recentemente, em substratos sintéticos derivados do petróleo, tem enfrentado pressões crescentes para adotar modelos produtivos mais sustentáveis. Essa exigência decorre não apenas dos impactos ambientais e sociais das rotas convencionais de curtimento e acabamento, mas também do aumento da demanda por materiais éticos, renováveis e de menor pegada de carbono. Nesse cenário, os chamados couros vegetais, também denominados *bioleathers* ou *vegan leathers*, despontam como alternativas viáveis e ambientalmente responsáveis para a substituição do couro animal e de polímeros sintéticos de origem fóssil.

O processamento do couro animal pode ser dividido em doze fases principais, incluindo desde a recepção da pele até o acabamento final. Cada fase contribui para a geração de resíduos sólidos e líquidos contaminantes, como cromo, sulfetos, formaldeído e corantes azo, cuja gestão inadequada representa riscos à saúde humana e ao meio ambiente (Bahua *et al.*, 2024; Kefale; Kebede; Birlie, 2023). A tabela 4 apresenta as etapas e os impactos ambientais ocasionados no processamento do couro animal.

Tabela 4 – Etapas do processamento do couro animal, descrição e impactos ambientais.

| Etapa | Descrição | Impactos Ambientais |
|---------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| Preservação da pele | Conservação com sal/refrigeração | Resíduos salinos; efluentes |
| Soaking | Lavagem/reidratação | Alta demanda hídrica; carga orgânica |
| Liming/Unhairing | Cal e sulfetos | Compostos tóxicos (sulfetos, álcalis) |
| Fleshing | Remoção de resíduos | Resíduos orgânicos sólidos |
| Deliming/Bating | Neutralização/enzimas | Amônia; DBO/DQO elevadas |
| Pickling | Acidificação/sais | Efluentes ácidos e salinos |
| Tanning | Curtimento (Cr/vegetal) | Metais pesados; lodos tóxicos |
| Retan/Dye/Fatliquor | Corantes/óleos | Tintas/óleos nos efluentes |

| Etapa | Descrição | Impactos Ambientais |
|-----------|------------|--------------------------|
| Drying | Secagem | Consumo energético |
| Finishing | Acabamento | COVs; resíduos perigosos |

Fonte: autoria própria, 2025.

Os couros vegetais são produzidos a partir de fontes renováveis, como resíduos agroindustriais, biomassa fúngica (micélio), bactérias celulósicas e culturas fermentativas. Esses materiais têm sido amplamente investigados por sua capacidade de reproduzir as propriedades estéticas, táteis e mecânicas do couro convencional, apresentando, contudo, menor impacto ambiental e maior alinhamento aos princípios da bioeconomia e da economia circular (Kefale; Kebede; Birlie, 2023). A tabela 5 compara os impactos das alternativas sustentáveis com o couro animal, com base nos estudos de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV).

Tabela 5 – Impactos ambientais estimados por tipo de couro.

| Material | GWP (kg CO ₂ eq/kg) | Água (m ³ /kg) | Energia (MJ/kg) | Referência |
|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------|
| Couro bovino | 22,0 | 11,3 | 140 | Bahua <i>et al.</i> , 2024; Navarro <i>et al.</i> , 2020 |
| Couro sintético (PU) | 11,5 | 1,6 | 95 | Bernhard <i>et al.</i> , 2023 |
| Couro de biomassa fúngico | 5,1 | 3,5 | 78 | Bahua <i>et al.</i> , 2024; Bernhard <i>et al.</i> , 2023 |
| Couro vegetal (Piñatex®) | 4,8 | 2,8 | 69 | Bernhard <i>et al.</i> , 2023; Kefale <i>et al.</i> , 2023 |

Fonte: autoria própria, 2025.

Diversos materiais de origem natural têm se destacado como alternativas sustentáveis ao couro convencional. O Piñatex®, por exemplo, é produzido a partir de fibras das folhas de abacaxi combinadas com ácido polilático (PLA) e revestimento de poliuretano (PU) (Bernhard; Werner; Götz, 2023). O Mylo™, desenvolvido pela empresa Bolt Threads, consiste em um couro micelial obtido pelo cultivo de fungos sobre resíduos agrícolas (Kefale; Kebede; Birlie, 2023). De forma semelhante, o Mylea™, originado na Indonésia, é produzido a partir do micélio de *Ganoderma lucidum* cultivado sobre serragem (Bahua *et al.*, 2024). Outra alternativa inovadora é o Kombucha leather, resultante da fermentação do chá por culturas bacterianas simbióticas (SCOBY), que gera filmes de celulose microbiana com aparência e textura semelhantes ao couro tradicional (Kefale; Kebede; Birlie, 2023).

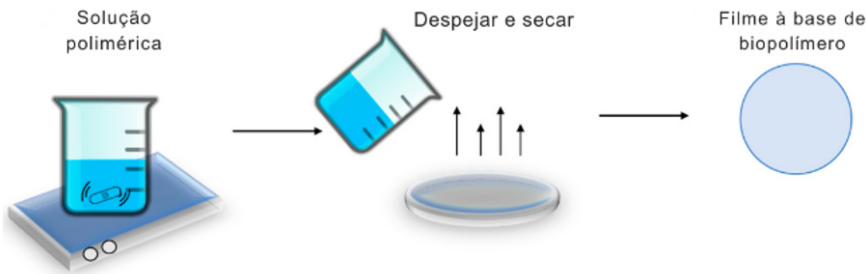
BIOPOLÍMEROS E ADITIVOS FUNCIONAIS DE ORIGEM NATURAL

Biopolímeros incluem polissacarídeos (celulose, amido, pectina, quitina), proteínas (colágeno, gelatina, caseína, fibroína), ácidos nucleicos, poliésteres microbianos (PHB e copolímeros) e biopolímeros sintéticos biodegradáveis como o polilactídeo (PLA), o poliglicólico (PGA) e a policaprolactona (PCL). Esses polímeros são produzidos industrialmente por processos como policondensação ou polimerização por abertura de anel, e apresentam ampla aplicabilidade devido à sua biodegradabilidade, propriedades mecânicas ajustáveis e compatibilidade com tecnologias de processamento convencionais.(Kim; Chung, 2024)

Principais rotas: extração de biomassa natural (moagem, extração aquosa/precipitação), fermentação microbiana (PHAs), polimerização química (ex.: PLA), e processamento físico (moldagem por compressão, solvent casting, eletrofiação, impressão 3D, copolimerização enxertada).

Conforme ilustrado na Figura 1, o método de fundição por solvente pode ser representado por um esquema simplificado que descreve suas principais etapas operacionais.

Figura 1 - Esquema do método de fundição com solvente (solvent casting).



Fonte: autoria própria, 2025.

A tabela 6 mostra as principais aplicações das técnicas de processamento físico dos biopolímeros.

Tabela 6 – Principais técnicas de processamento físico e aplicações.

| Técnica de Processamento | Aplicações principais |
|---------------------------|--------------------------------------|
| Solvent casting | Filmes e revestimentos |
| Moldagem por compressão | Embalagens e utensílios |
| Eletrofiação | Nanofibras p/ engenharia de tecidos |
| Impressão 3D | Dispositivos biomédicos e protótipos |
| Copolimerização enxertada | Ajuste de propriedades mecânicas |

Fonte: autoria própria, 2025.

A biomassa lignocelulósica (celulose, hemicelulose, lignina), plastificantes naturais (glicerol, óleos vegetais epoxidados, ésteres) e amidos vegetais (ex.: mandioca) com reforços nanoestruturados são as matérias-primas naturais mais utilizadas para produção de biopolímero.

Os plastificantes mais utilizados são o glicerol e sorbitol que aumentam flexibilidade e alongamento, mas podem reduzir resistência mecânica e aumentar WVP; efeitos são dose-dependentes e dependem da matriz.

Tabela 7 – Glicerol como plastificante: matrizes e efeitos principais (síntese de estudos).

| Matriz polimérica | Plastificante(s) | Principais efeitos | Estudo |
|-------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Amido de milho | Glicerol | ↑ flexibilidade/solubilidade; ↓ rigidez. | Sirbu <i>et al.</i> , 2024 |
| Amido + xantana | Glicerol/Sorbitol | Glicerol ↑ flexibilidade; sorbitol ↑ resistência | Yermagambetova <i>et al.</i> , 2024. |
| Amido de araruta | Glicerol | ↑ flexibilidade/espessura/solubilidade; ↓ tração; ↑ WVP. | Tarique <i>et al.</i> , 2021. |
| Amido batata-doce | Glicerol/Sorbitol | ↑ alongamento/solubilidade; ↓ resistência; ↑ permeabilidade. | Ballesteros-Márquez <i>et al.</i> , 2020. |
| Amido de trigo | Glicerol/Sorbitol/ Frutose/Ureia | Frutose melhor mecânica e ↓ água; glicerol ↑ flexibilidade. | Mohammed <i>et al.</i> , 2023. |
| Amido de milho | Glicerol/Sorbitol | Glicerol ↓ resistência; sorbitol mantém tração. | Harussani <i>et al.</i> , 2021. |

Fonte: autoria própria, 2025.

O amido de mandioca constitui uma das matérias-primas mais relevantes para a obtenção de biopolímeros, em razão de sua ampla disponibilidade, baixo custo, simplicidade de extração e alta capacidade de formar filmes biodegradáveis (Gunathilake; Somendrika, 2024; Silveira; Franca; Oliveira, 2025). Composto majoritariamente por amilose e amilopectina, esse polissacarídeo apresenta propriedades que favorecem a gelatinização e a formação de matrizes coesas, flexíveis e transparentes (Lopes *et al.*, 2025).

Entretanto, filmes formados apenas com amido de mandioca tendem a apresentar alta hidrofilicidade, baixa resistência mecânica e elevada permeabilidade ao vapor d'água, restringindo seu uso em embalagens que exigem estabilidade à umidade (Kusumawati *et al.*, 2025; Wibowo *et al.*, 2025). Para superar essas limitações, pesquisas recentes têm explorado o uso de plastificantes, lipídios, nanocargas e compostos bioativos.

Lopes *et al.* (2025) observaram que a adição de óleo de coco aumentou em quase três vezes a resistência à tração dos filmes, além de reduzir a permeabilidade ao vapor d'água, o que foi atribuído à formação de uma matriz mais compacta e hidrofóbica. De forma semelhante, Kusumawati *et al.* (2025) demonstraram que a

incorporação de quitosana (1,5%) eleva a resistência e a hidrofobicidade dos filmes, embora reduza sua flexibilidade.

O enriquecimento com extratos naturais tem recebido destaque por agregar propriedades antimicrobianas. Silveira, Franca e Oliveira (2025) relataram que filmes com óleo essencial de cravo inibiram microrganismos patogênicos, como *S. aureus* e *L. monocytogenes*, além de apresentarem maior estabilidade. Da mesma forma, Gunathilake e Somendrika (2024) verificaram que o extrato de *Ocimum tenuiflorum* aumenta a atividade antimicrobiana, embora reduza a transparência. Já Wibowo *et al.* (2025) indicaram que o uso de citronela potencializa o efeito antimicrobiano de maneira dose-dependente, mas pode elevar a permeabilidade ao vapor d'água.

Assim, os avanços nas formulações à base de amido de mandioca demonstram que, apesar de suas restrições intrínsecas, a combinação com lipídios, quitosana e compostos naturais resulta em biocompósitos com desempenho superior e grande potencial de aplicação em embalagens biodegradáveis e ativas, substituindo polímeros sintéticos.

O látex natural é uma dispersão coloidal proveniente da *Hevea brasiliensis*, composta principalmente por poli(cis-1,4-isopreno), proteínas, lipídios e carboidratos. Seu uso é amplamente difundido devido à elasticidade, resistência mecânica, hidrofobicidade e capacidade de formar filmes contínuos, características que o tornam um aditivo estratégico em formulações poliméricas sustentáveis (Andrade *et al.*, 2023; Meemai *et al.*, 2024; Revutskaya *et al.*, 2024).

A incorporação de látex em biopolímeros como amido, celulose e quitosana tem demonstrado melhorias significativas nas propriedades físicas e de barreira, reduzindo a fragilidade e aumentando a resistência à tração e à flexibilidade (Freitas *et al.*, 2024; Sanhawong *et al.*, 2017). Essas melhorias ocorrem devido à formação de redes mais densas e, em alguns casos, às ligações cruzadas formadas durante a vulcanização, que conferem estabilidade térmica e controle da biodegradação (Lima *et al.*, 2023).

Sanhawong *et al.* (2017) mostraram que a adição de látex concentrado a bioespumas de amido reduziu a absorção de umidade e aumentou a flexibilidade. Freitas *et al.* (2024) relataram incremento de até 76% na resistência à tração em filmes de amido reforçados com látex e nanocelulose. De modo similar, Meemai *et al.* (2024) verificaram que o látex desnatado (SNR) em compósitos de celulose bacteriana com nanopartículas de prata promoveu alta resistência e atividade antimicrobiana.

Contudo, Lima *et al.* (2023) observaram que o processo de vulcanização influencia a biodegradabilidade — ligações polissulfídicas aceleram a degradação, enquanto densas redes mono e dissulfídicas a retardam. Em aplicações biomédicas, Andrade *et al.* (2023) destacam a biocompatibilidade e elasticidade do látex em curativos e scaffolds, enquanto Varshini *et al.* (2025) ressaltam a importância do controle da concentração para evitar redução de transparência e efeitos alérgicos.

Apesar dos desafios — como a presença de proteínas alérgicas e a necessidade de dispersão homogênea —, o látex natural oferece grande potencial

na formulação de biocompósitos sustentáveis, aplicáveis em embalagens biodegradáveis, filmes ativos e biomateriais. Avanços tecnológicos, como purificação do látex, uso de microemulsões e formulações com SNR, têm ampliado sua viabilidade ambiental e econômica, consolidando-o como aditivo-chave na bioeconomia e na economia circular.

RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS NA BIOECONOMIA

Os resíduos agroindustriais desempenham um papel central na bioeconomia ao se constituírem como matérias-primas sustentáveis para a geração de bioprodutos, reduzindo custos industriais e impactos ambientais associados à exploração de recursos não renováveis.

Resíduos lignocelulósicos suportam rotas para bioenergia, bioplásticos, biosurfactantes e bioprodutos de alto valor, com ganhos ambientais e econômicos. A utilização desses resíduos se alinham as ODS 12, 11, 9, 13 e 15, promovendo consumo/produção responsáveis, cidades sustentáveis, inovação industrial, ação climática e proteção de ecossistemas terrestres, respectivamente.

Na tabela 8 são apresentados os principais bioprodutos e biomateriais obtidos a partir de diferentes resíduos agroindustriais, destacando-se o tipo de resíduo empregado, o bioproduto gerado, suas respectivas aplicações e as referências correspondentes que fundamentam cada desenvolvimento.

Tabela 8 – Resíduos agroindustriais, bioprodutos/biomateriais e aplicações.

| Resíduo | Bioproduto/Biomaterial | Aplicações | Referências |
|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Bagaço de cana | Bioetanol, biopolímeros, enzimas | Energia; embalagens; alimentos/fármacos | Alencar <i>et al.</i> , 2020; Guedes <i>et al.</i> , 2024; Junior, 2020 |
| Casca de arroz | Celulose, lignina, biofertilizantes | Papel; bioenergia; fertilizantes | Junior, 2020 |
| Farelo de trigo | Ácido cítrico, biopolímeros | Indústria química; embalagens | Alencar <i>et al.</i> , 2020; De Sá, 2021; Junior, 2020 |
| Palhas (trigo/cevada) | Biocombustíveis, bioplásticos | Energia renovável; materiais | Alencar <i>et al.</i> , 2020; Junior, 2020 |
| Cascas cítricas | Pectina, filmes biodegradáveis | Embalagens; fármacos; cosméticos | De Sá, 2021; Junior, 2020; Tessmann <i>et al.</i> , 2021 |
| Resíduos de polpas | Compostos bioativos, bioplásticos | Fármacos; cosméticos; embalagens | Alencar <i>et al.</i> , 2020; De Sá, 2021; Tessmann <i>et al.</i> , 2021 |

| Resíduo | Bioproduto/Biomaterial | Aplicações | Referências |
|------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Sabugo/espiga de milho | Enzimas, biocombustíveis | Alimentos; bioenergia | Alencar <i>et al.</i> , 2020; Guedes <i>et al.</i> , 2024 |
| Casca de banana | Bioplásticos; fibras | Embalagens; compósitos | De Sá, 2021; Tessmann <i>et al.</i> , 2021 |
| Bagaço de mandioca | Goma xantana; bioetanol | Alimentos; energia | Alencar <i>et al.</i> , 2020; Guedes <i>et al.</i> , 2024 |

Fonte: autoria própria, 2025.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A casca de maracujá destaca-se como plataforma versátil para biopolímeros e couros vegetais, com evidências robustas de desempenho em filmes e compósitos. Desafios incluem padronização de propriedades mecânicas, barreira e estabilidade, além da escalabilidade industrial e de custos.

Biopolímeros derivados da casca de maracujá e couros vegetais apresentam desempenho competitivo e clara vantagem ambiental frente a alternativas convencionais. A integração com políticas públicas, certificações e cadeias regionais pode acelerar a adoção, posicionando o Brasil como protagonista em bioeconomia circular aplicada a materiais.

REFERÊNCIAS

JAMBECK, Jenna R. *et al.* **Plastic waste inputs from land into the ocean.** Science, v. 347, n. 6223, p. 768–771, 13 fev. 2015.

LAU, Winnie W. Y. *et al.* **Evaluating scenarios toward zero plastic pollution.** Science, v. 369, n. 6510, p. 1455–1461, 18 set. 2020.

WAGH, Mrunal S. *et al.* **Valorisation of agro-industrial wastes: Circular bioeconomy and biorefinery process – A sustainable symphony.** Process Safety and Environmental Protection, v. 183, p. 708–725, 1 mar. 2024.

ALENCAR, Viviane do Nascimento e Silva *et al.* **Resíduos Agroindustriais: Uma Alternativa Promissora E Sustentável Na Produção De Enzimas Por Microrganismos.** In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA AGROINDÚSTRIA. Ciência, Tecnologia e Inovação: do campo à mesa. Instituto internacional Despertando Vocações, 2020. Disponível em: <<https://ciagro.institutoidv.org/ciagro/uploads/1753.pdf>>. Acesso em: 23 maio. 2025

ALVES, Priscila Leal da Silva *et al.* **Passion fruit shell flour and rice blends processed into fiber-rich expanded extrudates.** *CyTA - Journal of Food*, v. 16, n. 1, p. 901–908, 1 jan. 2018.

ANDRADE, Karina Luzia *et al.* **Latex and natural rubber: processing techniques for biomedical applications.** *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v. 40, n. 4, p. 913–927, 1 dez. 2023.

BAHUA, Hismiatty *et al.* **Life cycle assessment (LCA) of leather-like materials from mycelium: Indonesian case study.** *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 29, n. 10, p. 1916–1931, 1 out. 2024.

BALLESTEROS-MÁRTINEZ, Lucio; PÉREZ-CERVERA, Carmen; ANDRADE-PIZARRO, Ricardo. **Effect of glycerol and sorbitol concentrations on mechanical, optical, and barrier properties of sweet potato starch film.** *NFS Journal*, v. 20, p. 1–9, 1 ago. 2020.

BERNHARD, Trommer; WERNER, Ekkehard; GÖTZ, Mareen. **Synthetic, vegan, animal origin -a comparative lifecycle assessment for upholstery materials.** 2023.

BUENO, G. S.; FERREIRA, J. F.; FREITAS, G. M.; *et al.* **Utilização do mesocarpo de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) na elaboração de geléias e doce.** In: V Semana de Tecnologia em Alimentos; 2007; Ponta Grossa. Anais... Ponta Grossa: UTFPR, 2007. v. 2, n. 1, p. 21-25.

CAZARIN, Cinthia Baú Betim *et al.* **Capacidade antioxidante e composição química da casca de maracujá (*Passiflora edulis*).** *Ciência Rural*, v. 44, p. 1699–1704, set. 2014.

COSTA, Z. P., VARANI, A. M., CAUZ-SANTOS, L. A., SADER, M. A., GIOPATTO, H. A., ZIRPOLI, B., CALLOT, C., CAUET, S., MARANDE, W., SOUZA CARDOSO, J. L., PINHEIRO, D. G., KITAJIMA, J. P., DORNELAS, M. C., HARAND, A. P., BERGES, H., MONTEIRO-VITORELLO, C. B., & CARNEIRO VIEIRA, M. L. **A genome sequence resource for the genus *Passiflora*, the genome of the wild diploid species *Passiflora organensis*.** 2021. *The plant genome*, 14(3), e20117. <https://doi.org/10.1002/tpg2.20117>

DE SÁ, Natália. **Utilização de resíduos agroindustriais para produção de polímeros, materiais e embalagens.** 2021.

DENG, Liangting *et al.* **Preparation and characterization of chitosan/bacterial cellulose nanofibers-based food packaging films blended with aqueous phase from purple passion fruit peel via hydrothermal carbonization.** *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 301, p. 140258, 1 abr. 2025.

FREITAS, Gabriela P. *et al.* **Starch-based films: Tuning physical properties driven by nanocellulose-natural rubber latex composites.** *Industrial Crops and Products*, v. 221, p. 119375, 1 dez. 2024.

GUEDES, Eduardo Henrique Santos *et al.* (PDF) **Resíduos agroindustriais como substrato para a produção de lipases microbiana: uma revisão.** ResearchGate, 9 dez. 2024.

GUNATHILAKE, I. A. D. S. R.; SOMENDRIKA, M. A. D. **Desenvolvimento de uma embalagem biodegradável com propriedades antimicrobianas a partir do amido de mandioca incorporando extrato de *Ocimum tenuiflorum*.** Food Chemistry Advances, v. 4, p. 100658, 1 jun. 2024.

HARUSSANI, M. M. *et al.* **Determination of the Tensile Properties and Biodegradability of Cornstarch-Based Biopolymers Plasticized with Sorbitol and Glycerol.** Polymers, v. 13, n. 21, p. 3709, jan. 2021.

HE, Xirui *et al.* **Passiflora edulis: An Insight Into Current Researches on Phytochemistry and Pharmacology.** Frontiers in Pharmacology, v. 11, 20 maio 2020.

HENAO-DÍAZ, Luz *et al.* **Obtaining and characterization films of a bioplastic obtained from passion fruit waste (*Passiflora edulis*).** Agro Productividad, 10 ago. 2021.

HERNÁNDEZ-SANTOS, Betsabé *et al.* **Dietary fibre and antioxidant compounds in passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) peel and depectinised peel waste.** International Journal of Food Science & Technology, v. 50, n. 1, p. 268–274, 2015.

IBGE. **IBGE.** Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 31 ago. 2024.

JUNIOR, Silvio Vaz. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais: uma abordagem sustentável. - Portal Embrapa.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1126255/aproveitamento-de-residuos-agroindustriais-uma-abordagem-sustentavel>>. Acesso em: 23 maio. 2025.

KEFALE, Girmaw Yeshanbel; KEBEDE, Zerihun Teshome; BIRLIE, Alehegn Atalay. **A Systematic Review on Potential Bio Leather Substitute for Natural Leather.** Journal of Engineering, v. 2023, n. 1, p. 1629174, 2023.

KHAIRUDDIN, Nozieana *et al.* **Physico-Chemical Characteristics of Crosslinked-Biofilm Made From *Passiflora edulis* Waste.** Malaysian Applied Biology, v. 52, n. 5, p. 29–34, 15 dez. 2023.

KIM, Sundol; CHUNG, Hoyong. **Biodegradable polymers: from synthesis methods to applications of lignin-graft-polyester.** Green Chemistry, v. 26, n. 21, p. 10774–10803, 28 out. 2024.

KUSUMAWATI, Rinta *et al.* **Physical Properties of Biodegradable Chitosan-Cassava Starch Based Bioplastic Film Mechanics.** Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/387643457_Physical_Properties_of_Biodegradable_Chitosan-Cassava_Starch_Based_Bioplastic_Film_Mechanics>. Acesso em: 23 jun. 2025.

LIMA, Daniele Rosendo de *et al.* **Biodegradation of natural rubber latex films by highlighting the crosslinked bond.** *Industrial Crops and Products*, v. 204, p. 117290, 15 nov. 2023.

LOPES, Paula França Nascimento *et al.* **Biodegradable Cassava Starch-Based Films Formulated with Coconut Oil for Sustainable Food Packaging.** *Food Science and Engineering*, p. 140–154, 17 mar. 2025.

MACEDO, Maria Clara Coutinho *et al.* **Development and Characterization of Yellow Passion Fruit Peel Flour (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*).** *Metabolites*, v. 13, n. 6, p. 684, jun. 2023.

MEEMAI, Puttakhun *et al.* **Silver Nanoparticles/Skim Natural Rubber/Bacterial Cellulose Biopolymer Film.** *Engineering Journal*, v. 28, n. 10, p. 13–23, 31 out. 2024.

MOHAMMED, Abdulrahman A. B. A. *et al.* **Effect of Various Plasticizers in Different Concentrations on Physical, Thermal, Mechanical, and Structural Properties of Wheat Starch-Based Films.** *Polymers*, v. 15, n. 1, p. 63, jan. 2023.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável | As Nações Unidas no Brasil.** Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 19 jun. 2025.

NGUYEN, Thuy Thi Thanh *et al.* **Caracterização e atividades antibacterianas de filmes compósitos de pectina/quitosana da casca de maracujá incorporados ao extrato de folhas de Piper betle L. para preservação de berinjelas roxas.** *Heliyon*, v. 8, n. 8, p. e10096, 1 ago. 2022.

OLIVEIRA DA SILVA, Elaine Cristina *et al.* **Obtenção e caracterização da farinha do albedo de maracujá, *Passiflora edulis* f. *Flavicarpa*, para uso alimentício.** *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 11, n. 3, p. 69–74, 2016.

REIS, Luzia Caroline Ramos *et al.* **Antioxidant potential and physicochemical characterization of yellow, purple and orange passion fruit.** *Journal of Food Science and Technology*, v. 55, n. 7, p. 2679–2691, jul. 2018.

REVUTSKAYA, Natalia *et al.* **Application of Natural Functional Additives for Improving Bioactivity and Structure of Biopolymer-Based Films for Food Packaging: A Review.** *Polymers*, v. 16, n. 14, p. 1976, 10 jul. 2024.

SILVEIRA, Yuri D. O.; FRANCA, Adriana S.; OLIVEIRA, Leandro S. **Cassava Waste Starch as a Source of Bioplastics: Development of a Polymeric Film with Antimicrobial Properties.** *Foods*, v. 14, n. 1, p. 113, jan. 2025.

SIRBU, Elena-Emilia *et al.* **Influence of Plasticizers Concentration on Thermal, Mechanical, and Physicochemical Properties on Starch Films.** *Processes*, v. 12, n. 9, p. 2021, set. 2024.

TARIQUE, J.; SAPUAN, S. M.; KHALINA, A. **Effect of glycerol plasticizer loading on the physical, mechanical, thermal, and barrier properties of arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch biopolymers**. Scientific Reports, v. 11, p. 13900, 6 jul. 2021.

TELES, Gilberto Henrique *et al.* **Full utilization of the yellow passion fruit peel: Chemical characterization and valorization to reduce biomass waste**. Industrial Crops and Products, v. 206, p. 117593, 15 dez. 2023.

PEREIRA, Z. C.; CRUZ, J. M. dos A.; CORRÊA, R. F.; *et al.* **Passion fruit (*Passiflora* spp.) pulp: a review on bioactive properties, health benefits and technological potential**. Food Research International, v. 166, p. 112626, Apr. 2023. doi:10.1016/j.foodres.2023.112626.

TESSMANN, Marcelo Simões *et al.* **Bioproducts from agro-industrial plant residues: opportunities for sustainable reuse / Bioprodutos de resíduos agroindustriais vegetais: oportunidades ao reaproveitamento sustentável**. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 9, 14 set. 2021.

VARSHINI, S. *et al.* **A critical review on role of latex in bioplastics**. Waste Management Bulletin, v. 3, n. 3, p. 100199, 1 set. 2025.

WIBOWO, Condro *et al.* **Antimicrobial and Physical Characteristics of Cassava Starch Biodegradable Film Enhanced with Citronella Extract**. ResearchGate, 2025.

YAASHIKAA, P. R.; SENTHIL KUMAR, P.; VARJANI, Sunita. **Valorization of agro-industrial wastes for biorefinery process and circular bioeconomy: A critical review**. Bioresource Technology, v. 343, p. 126126, 1 jan. 2022.

YERMAGAMBETOVA, A. D. *et al.* **Effect of plasticizers on the rheological properties of xanthan gum - starch biodegradable films**. Heliyon, v. 10, n. 14, 30 jul. 2024.