# DIAGNÓSTICO ESTRATÉGICO PARA O APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS EM EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS

**Andrino, L. M[1], Magalhães, J. L. C.[1], Silva, O. J. A.[1], Martins, F. F.[1], Lima, M.[1]**

*[1]Lavínia Marins Andrino, Universidade Federal de Uberlândia- Campus Patos de Minas- MG, Brasil,*
*[1]José Lucas Cardoso Magalhães, Universidade Federal de Uberlândia- Campus Patos de Minas – MG, Brasil*
*[1]Flávio Francisco Martins, Universidade Federal de Uberlândia- Campus Patos de Minas – MG, Brasil*
*[1]Ordarlei José Aparecido Silva, Universidade Federal de Uberlândia- Campus Patos de Minas – MG, Brasil*
*[1]Marieli de Lima, Universidade Federal de Uberlândia- Campus Patos de Minas – MG, Brasil, e-mail: marieli@ufu.br*

*Resumo:* O trabalho diagnosticou o estado da arte acerca do uso de resíduos agroindustriais na produção de embalagens biodegradáveis. Os achados mostraram que a celulose (27%), quitosana (24%) e amido (23%) destacam-se como biomateriais. Sua principal aplicação ocorre em embalagens ativas (39%), ricas em antioxidantes fenólicos. Conclui-se que valorizar resíduos promove a economia circular, embora a transição para a produção industrial seja o principal desafio para substituir os plásticos sintéticos.

*Palavras-chave*: Resíduos orgânicos; Economia circular; Biopolímeros; Embalagens ativas.

## INTRODUÇÃO

As embalagens exercem papel vital na proteção de sistemas alimentares contra contaminações externas, conservando propriedades reológicas e mecânicas dos alimentos (Yuvaraj et al., 2021). Entre os materiais usados para embalagens, os plásticos convencionais são materiais formados pela união de macromoléculas poliméricas que apresentam baixa biodegradabilidade, cujo período de decomposição pós-descarte na natureza pode atingir até 450 anos (Canevarolo Jr., 2006; Brasil, 2019; Mohamed et al., 2020).

O uso generalizado desses materiais petroquímicos cresceu vertiginosamente a partir da década de 1950, sendo destinados principalmente ao setor de embalagens descartáveis de uso único (Geyer et al., 2017; Stiftung, 2020). Esse descarte massivo acarreta poluição química e consequências irreversíveis aos ecossistemas terrestres e marinhos (Kaushal et al., 2021; Villarrubia-Gómez et al., 2018; Waring et al., 2018). Diante disso, as indústrias buscam rotas viáveis para a manufatura de materiais biodegradáveis de baixo custo (Coelho, 2019).

Paralelamente, a cadeia global de suprimentos alimentares enfrenta sérios gargalos logísticos e operacionais, resultando na perda ou desperdício de aproximadamente 30% de toda a produção voltada ao consumo humano (Baysal; Ülkü, 2021). O desperdício de alimentos e a geração de resíduos agroindustriais representam um dos principais desafios ambientais, econômicos e sociais da atualidade. Segundo o relatório do Índice de Desperdício de Alimentos de 2024, elaborado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) em conjunto com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), mais de US$ 1 trilhão em alimentos é desperdiçado anualmente no mundo. O mesmo relatório amplia a discussão ao considerar tanto as partes comestíveis quanto as não comestíveis dos alimentos neste cálculo do desperdício. Essa abordagem é relevante porque muitos resíduos considerados "não comestíveis", como cascas, sementes e bagaços, podem ser reinseridos na cadeia produtiva por meio de estratégias de *upcycling* e economia circular (PNUMA-FAO, 2024).

Dentro desse contexto, a etapa de processamento industrial contribui para o desperdício, pois gera altos volumes de efluentes e frações sólidas residuais que compreendem carboidratos estruturais, proteínas, lipídios e metabólitos secundários bioativos (Ferreira et al., 2015; Bhargava et al., 2020; Zaror, 1992). Essas matrizes podem ser uma fonte para a síntese de biopolímeros, e permitem diferentes estratégias para viabilizar sua obtenção do ponto de vista econômico e ambiental, seja por via primária, extraindo esses compostos de interesse, ou ainda pela via secundária,

utilizando processos fermentativos (Carnaval et al., 2024). Além disso, a destinação desses resíduos para a elaboração de bioembalagens surge como alternativa ecológica superior ao cultivo direto de *commodities* agrícolas em terras aráveis para fins de bioplásticos, o que agravaria a escassez de água e a perda de *habitats* (Stiftung, 2020).

Desse modo, o objetivo deste trabalho foi realizar um levantamento bibliográfico e bibliométrico sobre o uso de resíduos agroindustriais (agrícolas, hortifrúti, bebidas e de origem animal) na produção de embalagens biodegradáveis, identificando os principais biomateriais empregados, aplicações tecnológicas, compostos funcionais e tendências científicas relacionadas ao desenvolvimento de embalagens sustentáveis.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo constitui um levantamento bibliográfico de caráter exploratório, conduzido por meio do Portal de Periódicos CAPES/MEC, empregando o acesso à Comunidade Acadêmica Federada (CAFe). A busca compreendeu a varredura sistemática de dados indexados em repositórios científicos de alto impacto internacional, incluindo *ScienceDirect*, *Wiley Online Library*, *Taylor & Francis Online, ACS Publications, Scielo e PubMed.* Foram adotadas combinações booleanas de palavras-chave, tais como "embalagens biodegradáveis", "resíduos da indústria de alimentos" e "aproveitamento de resíduos", estendendo-se aos termos correspondentes em língua inglesa. O critério de seleção priorizou artigos experimentais e revisões dentro do escopo previsto.

Para complementação, foi feita uma análise bibliométrica na base de dados do Web of Science Collection (WOS). Para tal, foram utilizadas as mesmas palavras-chave da etapa anterior para a pesquisa dos artigos para a análise. Após essa coleta, foi adotado o *software* VOSviewer para criar mapas com base em dados bibliográficos. Neste trabalho foi analisada a coocorrência de todas as palavras-chave presentes na base de dados. O VOSviewer organizou as palavras em *clusters* (agrupamentos), de acordo com as relações de coocorrência encontradas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Análise Bibliométrica*

Essa pesquisa retornou um total de 46 artigos, que formaram a base de dados utilizada na análise bibliométrica. As palavras-chave foram organizadas em quatro agrupamentos, indicados pelas diferentes cores, que tiveram um número mínimo de 5 ocorrências; o *software* retornou um total de 18 palavras-chave que atendiam a essas condições. O mapa da rede bibliométrica está apresentado na Figura 1.

O agrupamento em vermelho, contém as palavras *biodegradable*, *edible films*, *essential oil*, *food packaging* e *waste*, relacionando termos que trazem uma visão geral da pesquisa. Ao analisar os artigos relacionados a essas palavras-chave, encontraram-se trabalhos como os de Ali et al. (2024) e de Sani et al. (2023), que abordam a aplicação de resíduos vegetais de alimentos em materiais de embalagem e filmes biodegradáveis; dessa forma, a exploração desse agrupamento pode fornecer artigos para compor a base da pesquisa. O agrupamento verde, reúne as palavras *barrier properties*, *biodegradable packaging*, *biopolymers*, *mechanical-properties* e *shelf-life*, parecendo relacionar características dos biofilmes utilizados em embalagens.

O agrupamento na cor azul tem os termos *antioxidant*, *by-products*, *circular economy* e *pectin*, indicando a relação entre a economia circular e utilização de subprodutos, podendo ser observado no trabalho de Rawat et al. (2024), que relaciona a obtenção de bioativos naturais como pectina, com características de ação antioxidante e antimicrobiana. Por fim, o agrupamento em amarelo reuniu as palavras *cellulose*, *chitosan*, *films* e *starch*, o que indica a relação de aplicação de biopolímeros na produção dos filmes aplicados nas embalagens. Relacionado a esse agrupamento, foram encontrados, em sua maioria, artigos de revisão sobre o uso de biopolímeros obtidos de resíduos agrícolas e agroindustriais em materiais de embalagens de alimentos, como os trabalhos de Khandeparkar et al. (2024), Cheng et al. (2024) e de Birania et al. (2021).

É importante observar que, durante essa análise, a teoria sobre o primeiro agrupamento discutido, que traz correlações com artigos que podem fundamentar a base da pesquisa, mostrou-se pertinente, pois o artigo de Ali et al. (2024) surgia com recorrência nas pesquisas relacionadas aos demais agrupamentos.

Outro ponto importante observado na geração do mapa de coocorrências foi o período das publicações encontradas, entre 2017 e 2026, apesar da busca não contemplar filtros relacionados a “anos de publicação” e “tipos de documentos”. Isto reflete que esta área de pesquisa tem sido mais explorada nesta última década, refletindo inclusive as preocupações e metas estabelecidas pelos ODS, que correspondem aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2015):

As palavras-chave relacionadas a *biodegradable packaging, waste, circular economy, by-products e biopolymers* associam-se diretamente ao ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), especialmente

no que se refere à redução da geração de resíduos por meio da reciclagem, reutilização e valorização de resíduos agroindustriais. Da mesma forma, o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis e a substituição de plásticos convencionais contribuem para o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), ao atenuarem impactos ambientais decorrentes do acúmulo de resíduos petroquímicos e das emissões associadas à cadeia produtiva dos plásticos sintéticos.

Os termos relacionados à utilização de biomateriais naturais, como *cellulose, starch, chitosan* e *films*, também dialogam com o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), uma vez que envolvem o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, novos materiais de base biológica e processos inovadores aplicados à engenharia de embalagens. Paralelamente, as palavras-chave associadas às propriedades antioxidantes, filmes ativos e sistemas inteligentes de monitoramento de alimentos relacionam-se ao ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), devido ao potencial dessas tecnologias em aumentar a segurança de alimentos, ampliar a vida útil dos alimentos e reduzir perdas ao longo da cadeia de abastecimento.

Além disso, a valorização de resíduos agrícolas, hortifrúti, industriais e de origem animal também se conecta ao ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), considerando que a redução de perdas alimentares e o reaproveitamento integral da biomassa representam estratégias fundamentais para sistemas alimentares mais sustentáveis e eficientes.

Assim, os resultados bibliométricos reforçam que a expansão dessa área científica acompanha não apenas avanços tecnológicos recentes, mas também a consolidação de agendas internacionais voltadas à sustentabilidade e à transição para modelos produtivos circulares.

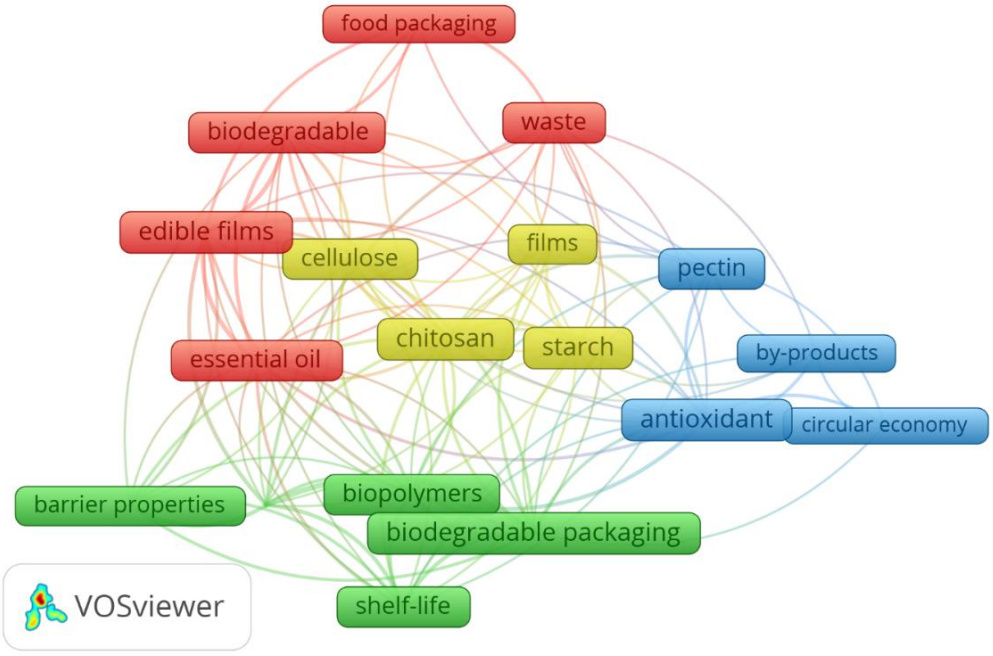


Figura 1. Rede bibliométrica da base de dados analisada (46 artigos).

*Impactos gerados pela produção de polímeros convencionais*

A Tabela 1 apresenta dados relacionados ao impacto da cadeia produtiva de polímeros sintéticos. Os dados demonstrados na Tabela 1 sintetizam o forte contraste entre a grave crise ambiental gerada pelo acúmulo de plásticos sintéticos e evidenciam a necessidade de acoplamento entre as cadeias produtivas alimentícias e os setores de engenharia de materiais, a fim de reduzir a dependência de combustíveis fósseis por meio do aproveitamento de polímeros naturais descartados.

Tabela 1. Panorama global e nacional da destinação de polímeros sintéticos e do descarte de biomassa.

| PARÂMETRO DE AVALIAÇÃO | ESCALA QUANTITATIVA | IMPACTOS GERADOS | REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA |
|---|---|---|---|
| GERAÇÃO ACUMULADA DE PLÁSTICOS | 6.300 Mt | 60% descartados em aterros e ambiente natural | Geyer et al. (2017) |
| RECICLAGEM GLOBAL DE POLÍMEROS | 9% do total | Apenas 10% reciclados mais de uma vez | Geyer et al. (2017) |
| PRODUÇÃO ANUAL DE LIXO PLÁSTICO (BR) | 11 milhões de toneladas | 4º maior produtor mundial de lixo plástico | Coelho (2019) |
| TAXA DE RECICLAGEM PLÁSTICA (BR) | 1,2% do resíduo | Abaixo da média mundial de reciclagem (9%) | Coelho (2019) |
| DESPERDÍCIO NA CADEIA DE ALIMENTOS | 30% da produção | Perda nutricional e passivo socioeconômico | Baysal; Ülkü (2021) |

De acordo com a análise de Geyer et al. (2017) citada na Tabela 1, a produção acumulada de plásticos primários e secundários (de 1950 a 2015) atingiu a marca alarmante de 6.300 megatoneladas (Mt). O impacto ambiental é severo, pois cerca de 60% de todo esse material (aproximadamente 4.900 Mt) foi descartado e continua se acumulando indevidamente em aterros sanitários ou no ambiente natural. A reciclagem é altamente ineficiente, atingindo apenas 9% do total, e, destes, somente 10% são reciclados mais de uma vez.

Este cenário traz o problema para a realidade nacional; os dados de Coelho (2019) apontam que o Brasil é o quarto maior produtor de lixo plástico do mundo, gerando cerca de 11 milhões de toneladas anuais. A situação se agrava pela taxa de reciclagem brasileira, que é de meros 1,2%, ficando muito abaixo da já insuficiente média mundial (9%). O trabalho destaca que o descarte incorreto desses materiais causa a morte de animais marinhos, poluição química e riscos diretos à saúde humana.

*Resíduos da Agricultura, Frutas e Vegetais*

Os resíduos agrícolas (RAs) são biomassas lignocelulósicas altamente abundantes, geradas nas atividades de colheita no campo (Dungani et al., 2017). Culturas cerealíferas dominantes como arroz, milho e trigo geram cascas, palhas e sabugos ricos em celulose, hemicelulose e lignina, capazes de alcançar teores de celulose de até 82% em sua composição estrutural (Wander; Silva, 2014; Bian et al., 2019; Rattanawongkun et al., 2020). No arroz, a casca representa mais de 22% do peso do grão processado, contendo materiais orgânicos abundantes e frações minerais como a sílica, vantajosa para conferir rigidez e estabilidade hidrofóbica às matrizes de biocompósitos e papelões (Ugheoke; Mamat, 2012; Hsieh et al., 2017; Bilo et al., 2018). Na cultura do milho, a palha e o sabugo cilíndrico concentram macromoléculas que estruturam filmes biodegradáveis e duráveis, reduzindo as emissões de carbono geradas pela queima rotineira desses resíduos nos campos (Cao et al., 2004; Li et al., 2017; Ruan et al., 2019).

Por sua vez, o processamento de frutas e vegetais responde por 45% do descarte orgânico mundial ao longo das etapas de descascamento, lavagem e prensagem industrial (Food and Agriculture Organization, 2013; Cedes, 2018). Esses rejeitos retêm parcelas expressivas de moléculas funcionais estruturadas na Tabela 2.

Tabela 2. Coprodutos do setor hortifrúti aplicados como biomassas ou aditivos funcionais.

| RESÍDUO VEGETAL | MATRIZ / BIOMASSA BASE | COMPOSTOS QUÍMICOS DE INTERESSE | APLICAÇÃO EM EMBALAGENS | REFERÊNCIA |
|---|---|---|---|---|
| CASCA DE BANANA | Amido de milho / quitosana | Celulose, lignina, compostos fenólicos | Filme ativo / Cobertura comestível | Silva et al. (2020) |
| POLPA E CASCA DE MELANCIA | Pectina isolada | Fibras brutas, açúcares, ácido galacturônico | Matriz de filme biodegradável puro | Han; Song (2021) |
| BAGAÇO DE MAÇÃ VERMELHA | Quitosana / Amido de mandioca | Fibras insolúveis, compostos fenólicos | Embalagem ativa e multifuncional | Lan et al. (2021) |
| CASCA DE BATATA | Álcool polivinílico (PVA) | Amido residual, fibras, polifenóis | Película ativa com barreira oxidativa | Ramesh et al. (2019) |
| BAGAÇO DE CENOURA INDUSTRIAL | Celulose nanofibrilada (NFC) | Fibras lignocelulósicas, carotenoides | Filmes compostos e reforço mecânico | Rajinipriya et al. (2018) |
| EXTRATO DE CASCA DE CEBOLA | Alginato de sódio / Funoran | Flavonoides, compostos de enxofre | Embalagem ativa antioxidante | Santos et al. (2021b) |
| PÓ DE BETERRABA EXAURIDA | Amido de mandioca / PVA | Fibras solúveis, betalaínas | Filme indicador de pH / Inteligente | Gonzalez et al. (2020) |
| CASCAS EXAURIDAS E RESÍDUOS DE COLHEITA DE TOMATE | Celulose vegetal | Carboximetilcelulose, polifenois | Filme bioplástico funcional | Qamar et al. (2026) |

Conforme detalhado na Tabela 2, o grande diferencial biotecnológico dos resíduos vegetais (cascas de cebola, bagaço de maçã, raízes) é a retenção altíssima de compostos bioativos, especialmente os compostos fenólicos e antocianinas. Lan et al. (2021) demonstraram isso de forma enfática ao desenvolver uma embalagem ativa e multifuncional combinando extrato de bagaço de maçã vermelha (um forte agente antioxidante) com matrizes de quitosana. Biossensores (inteligentes): As antocianinas atuam como corantes naturais responsivos. Prietto et al. (2017) e Sanches et al. (2021) aproveitaram os pigmentos do repolho roxo para desenvolver embalagens inteligentes e ativas. Como as antocianinas alteram sua conformação e cor em diferentes faixas de pH, elas acusam visualmente a variação de acidez gerada pela deterioração microbiana no alimento, atuando como um sensor integrado na embalagem.

*Resíduos da Indústria de Bebidas*

A indústria de bebidas gera expressivos passivos ecológicos na extração de sucos, chás e destilados. Os sucos de laranja e uva lideram o mercado nacional, gerando cascas, polpas exauridas, caules e sementes ricos em óleos essenciais, pectinas e fibras de parede celular altamente aproveitáveis (Deng et al., 2011; Garcia-Castello et al., 2011; Cypriano et al., 2018). O bagaço de mirtilo (*blueberry*) e uva, oriundo do processamento de néctares e vinhos, representa de 20 a 30% do peso do fruto fresco, concentrando polifenóis de alta capacidade colorimétrica (Cheng et al., 2020; Liu et al., 2021). Na torrefação e no consumo diário de café, volumes massivos de casca prateada (*silverskin*) e borra gasta são descartados; esses materiais são constituídos por galactomananas, celulose e compostos fenólicos com excelente aptidão para estruturar matrizes biodegradáveis puras ou atuar como agentes bloqueadores de radiação ultravioleta (UV) (Blinová et al., 2017; Janissen; Huynh, 2018; Oliveira et al., 2020).

No processamento do chá e da kombucha, a rota biotecnológica destaca-se pela biossíntese da celulose bacteriana (CB) a partir do resíduo simbiótico SCOBY (Dutta; Paul, 2019). A CB gera arranjos fibrilares compactos desprovidos de frações de lignina e hemicelulose, superando as propriedades tênseis de biopolímeros ordinários (Goh et al., 2012; Zhu et al., 2014). Conforme a Tabela 3, os destilados e fermentados geram resíduos fibrosos ideais para compor filmes compósitos isolantes mecânicos.

Tabela 3. Matrizes poliméricas e compostos extraídos de resíduos da indústria de bebidas.

| SETOR DE BEBIDAS | COPRODUTO GERADO | COMPONENTE QUÍMICO DE INTERESSE | FUNÇÃO TECNOLÓGICA APLICADA | REFERÊNCIA |
|---|---|---|---|---|
| PROCESSAMENTO DE CAFÉ | Borra gasta / Pele prateada | Galactomananas, carboximetilcelulose | Filmes biodegradáveis e ativos | Coelho et al. (2020) |
| INDÚSTRIA DE SUCOS (MIRTILO) | Bagaço prensado e cascas | Antocianinas, compostos fenólicos | Sensor inteligente indicador de pH | Andretta et al. (2019) |
| BEBIDAS PROBIÓTICAS | Cultura *starter* (SCOBY) | Celulose bacteriana pura | Matriz pura de alta rigidez mecânica | Soares et al. (2021) |
| CULTIVO DE ÁGUA DE COCO | Casca verde e fibras secas | Nanofibrilas de celulose, lignina | Película biodegradável e barreira a gás | Hassan et al. (2021) |
| DESTILAÇÃO DE CACHAÇA | Bagaço de cana-de-açúcar | Celulose (40-50%), hemicelulose | Nanocristais para reforço polimérico | Sukyai et al. (2018) |
| INDÚSTRIA CERVEJEIRA | Bagaço de malte de cevada | Fibras insolúveis (70%), proteínas | Aditivo de rigidez estrutural em filmes | Aliyu; Bala (2011) |

Resíduos do café, como a película prateada (*silverskin*) e a borra gasta, são excelentes fontes de galactomananas e ácidos clorogênicos. Pesquisas de Vidal et al. (2020, 2022) utilizaram o óleo de café verde prensado a frio, rico em compostos fenólicos, para enriquecer filmes de carboximetilcelulose (CMC), resultando em embalagens ativas de alto desempenho oxidativo. Da mesma forma, Batista et al. (2020) empregaram as proteínas e polissacarídeos do pó de café gasto na moldagem de biofilmes.

O processamento da cana-de-açúcar (setor de destilados e sucos) gera um bagaço que é um excelente doador de nanofibrilas e nanocristais de celulose. Autores como Sukyai et al. (2018) e El Achaby et al. (2017) demonstraram que a adição destes nanocristais de celulose do bagaço de cana atua como uma armação microscópica impecável para elevar a estabilidade e a resistência à tração de bioplásticos biodegradáveis.

*Resíduos da Indústria Animal*

A dinâmica global de carnes e produtos marinhos gera frações não comestíveis severas que alcançam até 50% do peso vivo do animal abatido em bovinos e suínos (FAO, 2020a; Junior, 2015). Embora as graxarias convertam sebos e farinhas proteicas para alimentação animal, crises sanitárias como a encefalopatia espongiforme bovina ("doença da vaca louca") impõem restrições legais rígidas ao tráfego dessas matrizes (Laurindo; Barros Filho, 2017; Ministério da Agricultura, 2017; Parlamento Europeu, 2009). Além disso, restrições culturais, religiosas (certificação Halal) e preferências dietéticas (consumidores vegetarianos e veganos) limitam o uso amplo de tecidos de mamíferos em embalagens alimentares genéricas (Galanakis, 2018). Por esse motivo, as pesquisas direcionam-se ao aproveitamento de descartes da indústria avícola e do pescado, cujas estruturas minerais e proteicas geram filmes estáveis, listados na Tabela 4, que revela uma inclinação peculiar na escolha de biomateriais de origem animal.

Fica evidente a escassez de pesquisas ligadas a bovinos e suínos. O risco de doenças transmissíveis e o uso indevido de subprodutos animais não comestíveis são baseados em Laurindo e Barros Filho (2017), no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2017) e no Parlamento Europeu e do Conselho (2009). Rejeição do mercado consumidor (vegetarianos, veganos e questões religiosas/Halal) e variação microbiológica limitam a aceitação do consumidor final, e as dificuldades impostas por contaminações e variações entre os produtos são fundamentadas por Galanakis (2018).

Tabela 4. Macromoléculas estruturais e minerais derivados de resíduos de origem animal.

| SETOR INDUSTRIAL | RESÍDUO APROVEITADO | COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOMINANTE | APLICAÇÃO TECNOLÓGICA DESENVOLVIDA | REFERÊNCIA |
|---|---|---|---|---|
| INCUBAÇÃO / AVICULTURA | Casca de ovo descartada | Carbonato de cálcio (94%) | Filler mineral para rigidez mecânica | Wu et al. (2020) |
| FILETAGEM DE PEIXES | Pele e escamas exauridas | Colágeno solúvel, gelatina de peixe | Matriz hidrofílica de biofilme flexível | Bhuimbar et al. (2019) |
| PROCESSAMENTO DE CAMARÃO | Cabeças e carapaças secas | Quitina, quitosana desacetilada | Filme antimicrobiano ativo natural | Pakizeh et al. (2021) |
| INDÚSTRIA DE MARISCOS | Suco e efluente de camarão | Peptídeos funcionais, astaxantina | Cobertura protetora comestível ativa | Alemán et al. (2016) |
| ABATE DE PESCADO | Pele de peixe para obtenção de gelatina | Proteína, gelatina | Matriz de embalagem ativa | Da Silva e Silva et al., (2021) |
| ABATE DE PESCADO | Pele de dourada (*Sparus aurata* L.) | Gelatina | Matriz de filmes colorimetricos | Kamer et al. (2023) |
| CRIAÇÃO DE INSETOS | Resíduos da casca da larva-da-farinha (*Tenebrio molitor*) | Quitosana | Filme reticulado com ácido cítrico e glicerol | Mwita et al. (2024) |
| CRIAÇÃO DE INSETOS PARA RAÇÃO ANIMAL | Larva da mosca-soldado-negra (*Hermetia illucens)* | Quitina | Filme de quitina/gel | Le et al. (2023) |
| CRIAÇÃO DE INSETOS | Larva, muda e adulto de larva-da-farinha (*Tenebrio molitor*) | Quitina e quitosana | Filme com quitosana | Khatami et al. (2024) |

Na quitosana marinha, os subprodutos da filetagem e descasque do camarão fornecem as maiores concentrações de quitina, que, após desacetilada, origina a quitosana. Estudos como os de Roy et al. (2021) extraem astaxantina e quitosana das cascas do camarão, materializando barreiras flexíveis, ativas e com formidável inibição bacteriana intrínseca.

Em relação aos carbonatos de cálcio, os descartes das incubadoras geram cascas de ovo que possuem cerca de 94% de carbonato de cálcio ($CaCO_3$). Trabalhos encabeçados por Jiang et al. (2018), Wu et al. (2020) e Prabhakar et al. (2016) demonstraram que triturar essas cascas em um pó fino cria um agente de amálgama (*filler*) perfeito. O uso de minerais eleva a resistência ao rasgo e a durabilidade térmica na confecção de embalagens compósitas, compensando a fragilidade inerente a alguns biopolímeros.

Os estudos que envolvem a cadeia produtiva de obtenção de proteínas alternativas, onde estão inseridas as criações de insetos (Tabela 4) consolidam-se não somente neste eixo original, mas também demonstram uma tendência para a obtenção de biomateriais de alto valor agregado, especialmente quitosana e quitina aplicadas na produção de

biofilmes. Esse cenário evidencia uma mudança de paradigma, na qual os resíduos gerados durante a produção de insetos deixam de representar passivos biológicos e passam a ser reconhecidos como matérias-primas estratégicas dentro de uma perspectiva de economia circular e aproveitamento integral da biomassa. No trabalho de Le et al., (2023), que envolve o aproveitamento da larva de mosca-soldado-negra, os autores conseguiram extrair quitina utilizando um co-solvente composto por glicerol e ácido clorídrico, propondo um método considerado mais verde e simplificado para obtenção do biopolímero.

### *Propriedades dos Biomateriais e Métodos de Preparo*

O mapeamento quantitativo dos artigos da literatura demonstra que a celulose (27%), a quitosana (24%) e o amido (23%) dominam amplamente os estudos de biofilmes, conforme apresentado na Figura 2. O amido, material comumente extraído de mandioca e milho, destaca-se pela transparência e baixa permeabilidade ao oxigênio em ambientes secos, embora exija plastificantes (como o glicerol) para conter a fragilidade gerada pela retrogradação das cadeias de amilose e amilopectina (Cui et al., 2021; Luchese et al., 2021). A insolvência natural da celulose em solventes convencionais requer sua esterificação química para gerar derivados solúveis estáveis de alta performance mecânica, tais como a metilcelulose (MC) e a carboximetilcelulose (CMC) (Chambi; Grosso, 2011; Mura et al., 2011). A pectina botânica e a gelatina marinha completam as opções de revestimentos biodegradáveis de baixo custo e alta renovabilidade (Eça et al., 2015; Jridi et al., 2020).

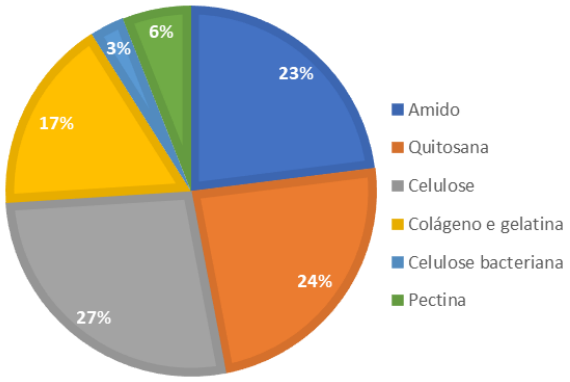


Figura 2. Uso de biomassa em estudos com aproveitamento de resíduos industriais via levantamento bibliográfico.

No que tange às técnicas de moldagem, o método de fundição (*casting*) laboratorial predomina em escala experimental, baseando-se no espalhamento e secagem estática de soluções filmogênicas em tempos que variam de 10 a 24 horas (Luchese et al., 2021). A limitação dimensional e o alto tempo de secagem impõem a migração para a fundição em fita (*tape casting*), na qual lâminas raspadoras ajustadas por parafusos micrométricos realizam o espalhamento linear contínuo sobre suportes aquecidos por infravermelho (De Moraes et al., 2013). Adicionalmente, a adaptação das biomassas ao processo contínuo de extrusão industrial de rosca simples ou dupla desponta como o caminho definitivo para a viabilidade de mercado, demandando, contudo, rigoroso controle reológico devido à complexa termofusão dos polímeros naturais (Espitia et al., 2014; Nur Hanani et al., 2012).

### *Aplicações Funcionais das Embalagens Biodegradáveis*

A partir do levantamento bibliográfico realizado, verificou-se que diversos estudos vêm explorando o aproveitamento de resíduos oriundos das indústrias de alimentos para a produção de filmes biodegradáveis. Os trabalhos identificados demonstraram não apenas o desenvolvimento de materiais biodegradáveis convencionais, mas também a incorporação de compostos funcionais capazes de conferir propriedades adicionais às embalagens produzidas. Nesse sentido, observou-se uma predominância de pesquisas voltadas ao desenvolvimento de embalagens biodegradáveis ativas, inteligentes, comestíveis e compostas, evidenciando o avanço tecnológico e funcional desses biomateriais, que está representado pela Figura 3, que enquadra os tipos de embalagens desenvolvidos por essas pesquisas.

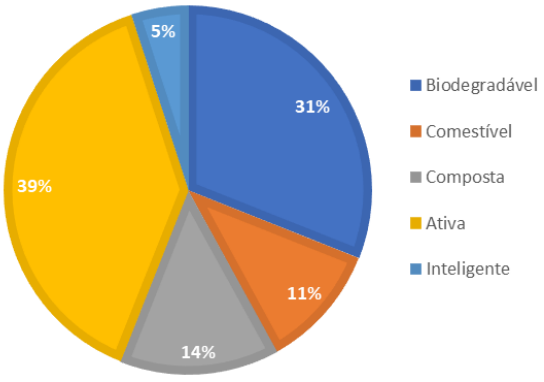


Figura 3. Categorias de embalagens para alimentos desenvolvidas com resíduos agroindustriais segundo o levantamento bibliográfico.

A classificação funcional das embalagens desenvolvidas com resíduos indica que 39% operam como sistemas ativos, seguidas por 31% puramente biodegradáveis estruturais, 14% compostas, 11% inteligentes indicadoras e 5% comestíveis protetoras. As embalagens ativas atuam sequestrando metabólitos deletérios ou liberando compostos antioxidantes

diretamente no alimento (Dainelli et al., 2008). Nos estudos avaliados, os compostos fenólicos compreendem 55% da composição ativa dos resíduos, atuando como barreiras radicais livres que bloqueiam reações de oxidação lipídica e estendem substancialmente a vida útil de produtos cárneos e lipídicos (Barbosa-Pereira et al., 2014; Romani et al., 2017).

As embalagens inteligentes ampliam a comunicação ao rastrear alterações físico-químicas internas do ecossistema do produto (Shivakumar et al., 2018). Sensores colorimétricos integrados utilizam pigmentos flavônicos não tóxicos e hidrossolúveis que sofrem transições estruturais e mudam drasticamente de cor conforme o pH varia em resposta ao crescimento microbiano (Kurek et al., 2018). Outros modelos incorporam corantes redox e enzimas oxidativas capazes de acusar vazamentos gasosos através da detecção de flutuações nas concentrações de dióxido de carbono ($CO_2$) e oxigênio ($O_2$) protetores (Puligundla et al., 2012; Lagaron et al., 2014). Por fim, as coberturas comestíveis e arranjos compostos associam hidrocoloides estruturais e barreiras lipídicas hidrofóbicas para equalizar as taxas de permeabilidade ao vapor de água e migração de óleos, consolidando a estabilidade total do sistema (McHugh, 1996; Nussinovitch, 2013).

## CONCLUSÃO

A valorização de coprodutos das indústrias alimentícias consolida-se como rota técnica indispensável para a viabilização da economia circular e mitigação do descarte de plásticos petroquímicos sintéticos. Subprodutos da agricultura, hortifrúti, bebidas e resíduos marinhos animal operam eficientemente como matrizes poliméricas de baixo custo (celulose, quitosana, amido) e reservatórios de compostos fenólicos ativos e pigmentos sensores inteligentes. O principal desafio reside na transição de escala dos processos laboratoriais de fundição (*casting*) para os métodos industriais de extrusão contínua, barateando custos e permitindo que as embalagens sustentáveis compitam comercialmente no mercado.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Uberlândia e ao COBICET, pela oportunidade de submissão de uma revisão científica; à orientadora, pela dedicação; e aos colegas que apoiaram e ajudaram na realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

Ali, M. Q. et al. An overview: exploring the potential of fruit and vegetable waste and by-products in food biodegradable packaging. Discover Food, v. 4, 2024.

Barbosa-Pereira, L. et al. Development of new active packaging films coated with natural phenolic compounds to improve the oxidative stability of beef. Meat Science, v. 97, n. 2, 2014.

Batista, M. J. P. .A. et al.. 68 Polysaccharide-rich fraction of spent coffee grounds as promising biomaterial for films fabrication. Carbohydrate Polymers, [S. l.], v. 233, 2020. DOI: 10.1016/j.carbpol.2020.115851.

Baysal, S. S.; Ülkü, M. A. Food Loss and Waste. Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials, p. 90-108, 2021.

Bhargava, N. et al. Active and intelligent biodegradable packaging films using food and food waste-derived bioactive compounds: A review. Trends in Food Science and Technology, 2020.

Bian, H. et al. Lignocellulosic nanofibrils produced using wheat straw and their pulping solid residue: From agricultural waste to cellulose nanomaterials. Waste Management, [S. l.], 2019. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.04.052.

Bilo, F. et al. A sustainable bioplastic obtained from rice straw. Journal of Cleaner Production, v. 200, 2018.

Birania, S. et al. Advances in development of biodegradable food packaging material from agricultural and agro-industry waste. Journal Food Process Engineering, v. 45, 2021.

Blinová, L. et al. Review: Utilization of Waste From Coffee Production. Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology, [S. l.], v. 25, n. 40, 2017. DOI: 10.1515/rput-2017-0011.

Canevarolo J., Sebastião V.. Ciência dos Polímeros. [s.l: s.n.].

Cao, Q. et al. Pyrolytic behavior of waste corn cob. Bioresource Technology, [S. l.], v. 94, n. 1, 2004. DOI: 10.1016/j.biortech.2003.10.031.

Carnaval, L. S. C. et al. Agro-Food Waste Valorization for Sustainable Bio-Based Packaging. Journal of composites Science, v. 8, 2024.

Cedes. Estratégias para redução de perdas e desperdício de alimentos. [s.l: s.n.]. v. 3

Chambi, H. N. M.; Grosso, C.R.F. Mechanical and water vapor permeability properties of biodegradables films based on methylcellulose, glucomannan, pectin and gelatin. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 31, n. 3, 2011.

Cheng, J. et al. Applications of biodegradable materials in food packaging: A review. Alexandria Engineering Journal, v. 91, p. 70-83, 2024.

Cheng, Y. et al. Fermented blueberry pomace with antioxidant properties improves fecal microbiota community structure and short chain fatty acids production in an *in vitro* mode. LWT, v. 125, 2020.

Coelho, T. Brasil é o 4o maior produtor de lixo plástico do mundo e recicla apenas 1%. 2019.

Cui, C. et al. Bioactive and intelligent starch-based films: A review. Trends in Food Science and Technology, v. 116, p. 854-869, 2021.

Cypriano, D .Z. et al. High value-added products from the orange juice industry waste. Waste Management, [S. l.], v. 79, 2018. DOI: 10.1016/j.wasman.2018.07.028.

Dainelli, D. et al. Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns. Trends in Food Science and Technology, v. 19, n. SUPPL. 1, 2008.

Da Silva e Silva, Natácia, et al. Artificial intelligence application for classification and selection of fish gelatin packaging film produced with incorporation of palm oil and plant essential oils. Food Packaging and Shelf Life, [S. L.], v. 27, 2020, p. 100611, 2021. DOI: 10.1016/j.fpsl.2020.100611.

De Moraes, J. O. et al. Scale-up of the production of cassava starch based films using tape-casting. Journal of Food Engineering, v. 119, n. 4, 2013.

Deng, Q. et al. Chemical composition of dietary fiber and polyphenols of five different varieties of wine grape pomace skins. Food Research International, [S. l.], v. 44, n. 9, 2011. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.05.026.

Dungani, R. et al. Bionanomaterial from agricultural waste and its application. In: CelluloseReinforced Nanofibre Composites: Production, Properties and Applications. [s.l: s.n.]. DOI: 10.1016/B978-0-08-100957-4.00003-6.

Dutta, H.; Paul, S.K. Kombucha Drink: Production, Quality, and Safety Aspects. In: Production and Management of Beverages. [s.l: s.n.]. DOI: 10.1016/b978-0-12-815260-7.00008-0.

Eça, K. S. et al. Development of Active Films From Pectin and Fruit Extracts: Light Protection, Antioxidant Capacity, and Compoun

Espitia, P. J. P. et al. Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties - A review. Food Hydrocolloids, 2014.

FAO. Meat market review. Food and Agriculture Organization of the United Nations, [S. l.], n. December, p. 1–13, 2020. a. Disponível em: http://www.fao.org/3/ca3880en/ca3880en.pdf.

Ferreira, M. S .L. et al. Formulation and characterization of functional foods based on fruit and vegetable residue flour. Journal of Food Science and Technology, v. 52, n. 2, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Food Wastage Footprint: Impact On Natural ResourcesFood and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). [s.l: s.n.].

Galanakis, C.M. Sustainable meat production and processing. [s.l: s.n.]. DOI: 10.1016/C2017-0-02230-9.

Garcia-castello, E. M. et al. Reverse osmosis concentration of press liquid from orange juice solid wastes: Flux decline mechanisms. Journal of Food Engineering, [S. l.], v. 106, n. 3, 2011. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2011.05.005.

Geyer, R. et al. Production, use, and fate of all plastics ever made. Science Advances, v. 3, n. 7, 2017.

Goh, W. N. et al. Microstructure and physical properties of microbial cellulose produced during fermentation of black tea broth (kombucha). II. International Food Research Journal, [S. l.], v. 19, n. 1, 2012.

Hsieh, Y. Y. et al. Rice husk agricultural waste-derived low ionic content carbon-silica nanocomposite for green reinforced epoxy resin electronic packaging material. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 2017.

Janissen, B.; Huynh, T. Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products: A reviewResources, Conservation and Recycling, 2018. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.10.001

Jiang, B. et al. Preparation and characterization of natural corn starch-based composite films reinforced by eggshell powder. CYTA - Journal of Food, v. 16, n. 1, 2018.

Jridi, M. et al. Physicochemical, antioxidant and antibacterial properties of fish gelatin-based edible films enriched with orange peel pectin: Wrapping application. Food Hydrocolloids, [S. l.], 2020. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.105688.

Junior, J. C. S. Aproveitamento De Subprodutos Da Indústria De Carne Suína: Caracterização Físico-Química Do Queijo De Porco. [S. l.], p. 110, 2015. Disponível em: http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1654/1/LD_PPGTAL_M_Silva Junior%2C Jamil Correia da_2015.pdf.

Kamer, D.D.A. et al. Development of gelatin/PVA based colorimetric films with a wide pH sensing range winery solid by-product (Vinasse) for monitor shrimp freshness, International Journal of Biological Macromolecules, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.08.113.

Kaushal, J. et al. Recent insight into enzymatic degradation of plastics prevalent in the environment: A mini - review. Cleaner Engineering and Technology, [S. l.], v. 2, 2021. DOI: 10.1016/j.clet.2021.100083.

Khandeparkar, A. S. et al. Eco-friendly innovations in food packaging: A sustainable revolution. Sustainable Chemistry and Pharmacy, v. 39, 2024.

Khatami, N. et al. Valorization of biological waste from insect-based food industry: Assessment of chitin and chitosan potential. Carbohydrate Polymers, 2024, DOI: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121529.

Kurek, M. et al. Development and evaluation of a novel antioxidant and pH indicator film based on chitosan and food waste sources of antioxidants. Food Hydrocolloids, 2018.

Lagaron, J. M. et al. Microencapsulation and Packaging—Value-Added Solutions to Product Development. In: Microencapsulation in the Food Industry. [s.l: s.n.]. DOI: 10.1016/b978-0-12-404568-2.00031-5.

Lan, W. et al. Development of red apple pomace extract/chitosan-based films reinforced by TiO2 nanoparticles as a multifunctional packaging material. International Journal of Biological Macromolecules, v. 168, p. 105-115, 2021.

Laurindo, E. E. et al. Atypical bovine spongiform encephalopathy: a review. Scielo Brasil, [S. l.], v. 84, 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/1808-1657000392015.

Li, W. et al. Enhanced furfural production from raw corn stover employing a novel heterogeneous acid catalyst. Bioresource Technology, [S. l.], v. 245, 2017. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.08.077.

Liu, H. et al. Sustainable blueberry waste recycling towards biorefinery strategy and circular bioeconomy: A reviewBioresource Technology, 2021. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.125181.

Luchese, C. L. et al. Influence of the incorporation form of waste from the production of orange juice in the properties of cassava starch-based films. Food Hydrocolloids, v. 117, 2021.

Mchugh, T. H. Effects of Macromolecular Interactions on the Permeability of Composite Edible Films. ACS Symposium Series, [S. l.], v. 650, 1996. DOI: 10.1021/bk-1996-0650.ch011

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa 34/2008. [S. l.], p. 1–12, 2017. Disponível em: http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=284275208.

Mohamed, S. A. A. et al. Polysaccharides, Protein and Lipid-Based Natural Edible Films in Food Packaging: A Review. Carbohydrate Polymers, v. 238, p. 116178, 2020.

Mura, S. et al. Innovative Composite Films of Chitosan, Methylcellulose, and Nanoparticles. Journal of Food Science, v. 76, n. 7, 2011.

Mwita, C.S. et al. The Biomass of *Tenebrio molitor* Larvae as a Sustainable Packaging Film. Materials 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/ma17153670

Nur Hanani, Z. A. et al. Manufacture and characterization of gelatin films derived from beef, pork and fish sources using twin screw extrusion. Journal of Food Engineering, [S. l.], v. 113, n. 4, 2012. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2012.07.002.

Nussinovitch, A. Biopolymer Films and Composite Coatings. Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics, p. 235-262, 2013.

Oliveira, G. et al. Coffee silverskin and starch-rich potato washing slurries as raw materials for elastic, antioxidant, and UV-protective biobased films. Food Research International, [S. l.], v. 138, 2020. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109733.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Tradução Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil (UNIC Rio). Nova York: ONU, 2015. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 29 maio 2026.

PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO. REGULAMENTO (CE) (1069/2009) DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO2009. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/BG/TXT/HTML/?uri=CELEX:32009R1069&from=EN.

Prabhakar, M. N. et al. Fabrication and characterization of eggshell powder particles fused wheat protein isolate green composite for packaging applications. Polymer Composites, [S. l.], v. 37, n. 11, 2016. DOI: 10.1002/pc.23527.

Prietto, L. et al. pH-sensitive films containing anthocyanins extracted from black bean seed coat and red cabbage. LWT - Food Science and Technology, [S. l.], 2017. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.03.006.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA); ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO (FAO). Relatório do Índice de Desperdício de Alimentos 2024. Nairobi: UNEP, 2024. Disponível em: https://www.unep.org. Acesso em: 29 maio 2026.

Puligundla, P. et al. Carbon dioxide sensors for intelligent food packaging applicationsFood Control, 2012. DOI: 10.1016/j.foodcont.2011.10.043.

Qamar, S.A. et al. Upcycling tomato harvest and processing residues into polyphenol-enriched cellulosic films with tunable antioxidant and UV-blocking properties. Foods 2026, 15, 1067. DOI: https://doi.org/10.3390/foods15061067

Rattanawongkun, P. et al. Improving agricultural waste pulps via selfblending concept with potential use in moulded pulp packaging. Journal of Environmental Chemical Engineering, [S. l.], 2020. DOI: 10.1016/j.jece.2020.104320.

Rawat, E. et al. Comparative study of packaging materials developed from fish and legume protein concentrates. Future Foods, v. 11, 2024.

Romani, V. P. et al. Oxidação lipídica e compostos fenólicos como antioxidantesem embalagens ativas para alimentos. Vetor, [S. l.], v. 27, n. 1, p. 38–56, 2017. Disponível em: https://periodicos.furg.br/vetor/article/view/7052/7414.

Roy, V. C. et al. Extraction of astaxanthin using ultrasound-assisted natural deep eutectic solvents from shrimp wastes and its application in bioactive films. Journal of Cleaner Production, [S. l.], 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.125417.

Ruan, Z. et al. Corn. Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products, Elsevier Inc., 2019.

Sanches, M. A. R. et al. Active packaging with starch, red cabbage extract and sweet whey: Characterization and application in meat. LWT, [S. l.], 2021. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.110275.

Sani, I. K. et al. Value-added utilization of fruit and vegetable processing by-products for the manufacture of biodegradable food packaging films. Food Chemistry, v. 405, 2023.

Shivakumar, N. et al. Nanomaterials for smart food packaging. In: Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications. [s.l: s.n.]. DOI: 10.1016/B978-0-12-813351-4.00016-X.

Stiftung, H. B. Atlas do plástico - Fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos. [S. l.], v. 01, p. 64, 2020. Disponível em: https://br.boell.org/pt-br/2020/11/29/atlas-doplastico.

Sukyai, P. et al. Effect of cellulose nanocrystals from sugarcane bagasse on whey protein isolate-based films. Food Research International, v. 107, 2018.

Ugheoke, I. B.; Mamat, O. A critical assessment and new research directions of rice husk silica processing methods and propertiesMaejo International Journal of Science and Technology, 2012.

Vidal, O. L. et al. Production of bioactive films of carboxymethyl cellulose enriched with green coffee oil and its residues. International Journal of Biological Macromolecules, v. 146, 2020.

Villarrubia-Gómez, P. et al. Marine plastic pollution as a planetary boundary threat – The drifting piece in the sustainability puzzle. Marine Policy, [S. l.], v. 96, 2018. DOI: 10.1016/j.marpol.2017.11.035.

Wander, A. E.; SILVA, O. F. Capítulo 5 - Rentabilidade da produção de arroz no Brasil. Embrapa Arroz e Feijão, [S. l.], 2014.

Waring, R. H. et al. Plastic contamination of the food chain: A threat to human health? Maturitas, 2018. DOI: 10.1016/j.maturitas.2018.06.010.

Wu, H. et al. Preparation and Properties of Biocomposite Films Based on Poly (vinyl alcohol) Incorporated with Eggshell Powder as a Biological Filler. Journal of Polymers and the Environment, v. 28, n. 7, 2020.

Yuvaraj, D. et al. Advances in bio food packaging – An overview. Heliyon, [S. l.], v. 7, n. February, p. e07998, 2021. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e07998. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07998.

Zaror, C. A. Controlling the environmental impact of the food industry: an integral approachFood Control, 1992. DOI: 10.1016/0956-7135(92)90130-3.

Zhu, C.; et al. Kombucha-synthesized bacterial cellulose: Preparation, characterization, and biocompatibility evaluation. Journal of Biomedical Materials Research - Part A, [S. l.], v. 102, n. 5, 2014. DOI: 10.1002/jbm.a.34796.