

## **Produção de filmes biodegradáveis a partir de resíduos de frutas e vegetais: uma revisão atualizada**

**Production of biodegradable films from fruit and vegetable waste: an updated review**

**Producción de películas biodegradables a partir de residuos de frutas y verduras: una revisión actualizada**

Recebido: 27/03/2022 | Revisado: 02/04/2022 | Aceito: 10/04/2022 | Publicado: 15/04/2022

**Bruna Mayara Roldão Ferreira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6980-3181>  
Universidade Estadual de Maringá, Brasil  
E-mail: [pg906757@uem.br](mailto:pg906757@uem.br)

**Rosyzela Cordova Neyra**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3733-9625>  
Universidade Estadual de Maringá, Brasil  
E-mail: [rosyzelacn@gmail.com](mailto:rosyzelacn@gmail.com)

**Joice Camila Martins da Costa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2175-7494>  
Universidade Estadual de Maringá, Brasil  
E-mail: [joicecamilamart@gmail.com](mailto:joicecamilamart@gmail.com)

**Andressa Rafaella da Silva Bruni**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8236-1293>  
Universidade Estadual de Maringá, Brasil  
E-mail: [rafaela\\_bruni@hotmail.com](mailto:rafaela_bruni@hotmail.com)

**Marciele Alves Bolognese**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3417-9566>  
Universidade Estadual de Maringá, Brasil  
E-mail: [mafb-2006@hotmail.com](mailto:mafb-2006@hotmail.com)

**Angélica Marquetotti Salcedo Vieira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7467-3767>  
Universidade Estadual de Maringá, Brasil  
E-mail: [amsvieira@uem.br](mailto:amsvieira@uem.br)

### **Resumo**

A indústria de alimentos é um dos setores que mais geram resíduos, sendo que as maiores perdas são em decorrência da cadeia de processamento de frutas e vegetais. Por outro lado, os filmes biodegradáveis oferecem uma alternativa para embalagens sustentáveis e aumento da vida de prateleira de alimentos. Visto isso, resíduos de frutas e vegetais podem ser empregados em filmes biodegradáveis como uma possibilidade de redução do custo de produção, do impacto industrial no meio ambiente e agregação de valor de subprodutos alimentares. Assim, o presente trabalho teve como objetivo fornecer uma revisão bibliográfica detalhada e atualizada sobre a produção de filmes biodegradáveis a partir dos resíduos de frutas e vegetais provenientes da indústria alimentícia. Como resultado da pesquisa, observou-se que os filmes e revestimentos comestíveis produzidos a partir destes resíduos são ótimas alternativas para a embalagem de alimentos, pois apresentam características físicas, mecânicas e estruturais semelhantes ou até mesmo aprimoradas do que as dos filmes convencionais, além de agregarem propriedades antimicrobianas, antioxidantes e sustentáveis aos produtos embalados.

**Palavras-chave:** Filmes biodegradáveis; Revestimentos comestíveis; Resíduos industriais; Impacto ambiental; Sustentabilidade.

### **Abstract**

The food industry is one of the sectors that generate the most waste, with the greatest losses occurring in the fruit and vegetable processing chain. On the other hand, biodegradable films offer an alternative for sustainable packaging and increased food shelf life. Therefore, fruit and vegetable residues can be used in biodegradable films as a possibility of reducing production cost and industrial impact on the environment, and adding value to food by-products. Thus, the present work aimed to provide a detailed and updated literature review on the production of biodegradable films from fruit and vegetable waste from the food industry. As a result of the research, it was observed that the edible films and coatings produced from these wastes are great alternatives for food packaging, because they present physical, mechanical and structural characteristics similar or even improved than those of conventional films, besides adding antimicrobial, antioxidant and sustainable properties to the packaged products.

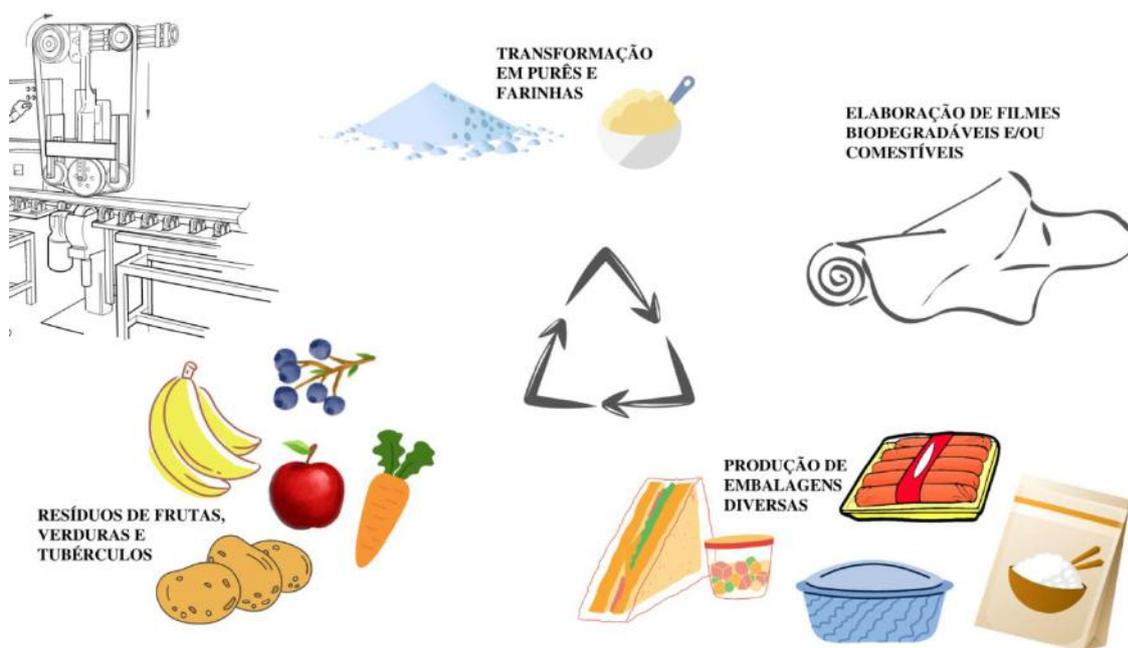
**Keywords:** Biodegradable films; Edible coatings; Industrial waste; Environmental impact; Sustainability.

## Resumen

La industria de alimentos es uno de los sectores que más residuos generan, siendo que las mayores pérdidas son como consecuencia de la cadena de procesamiento de frutas y verduras. Por otro lado, las películas biodegradables ofrecen una alternativa al envasado sostenible y al aumento de la vida útil de los alimentos. Visto esto, los residuos de frutas y verduras pueden emplearse en películas biodegradables como una posibilidad para reducir el costo de producción y el impacto industrial en el medio ambiente, y para agregar valor a los subproductos alimentarios. Por lo tanto, el presente trabajo tuvo como objetivo proporcionar una revisión bibliográfica detallada y actualizada sobre la producción de películas biodegradables a partir de los residuos de frutas y verduras provenientes la industria alimentaria. Como resultado de la investigación, se observó que las películas y revestimientos comestibles producidos a partir de estos residuos son óptimas alternativas para el envasado de alimentos, ya que presentan características físicas, mecánicas y estructurales similares o incluso mejoradas que las de las películas convencionales, además de agregar propiedades antimicrobianas, antioxidantes y sostenibles a los productos envasados.

**Palabras clave:** Películas biodegradables; Recubrimientos comestibles; Residuos industriales; Impacto ambiental; Sustentabilidad.

Figura 1 - Resumo gráfico.



Fonte: Autores (2022).

## 1. Introdução

A indústria agropecuária, com destaque para a indústria de alimentos, é um dos setores que mais geram resíduos, não só no Brasil, mas em escala mundial. Pois, em virtude da alta perecibilidade de alguns produtos, existe a necessidade de processamentos que visam o aumento de vida útil e a adequação do transporte, o que gera toneladas de resíduos ao ano (Infante et al., 2013). De acordo com a FAO (*Food and Agriculture Organization* - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura), cerca de 1,3 bilhão de toneladas de alimentos são desperdiçados ou perdidos anualmente em todo o mundo, representando cerca de um terço de toda a produção mundial de alimentos destinada ao consumo humano. As maiores perdas vêm de frutas e vegetais, representando até 50% da produção, e acontecem principalmente durante as etapas de processamento e pós-colheita (FAO, 2016).

Proveniente da produção industrial, os resíduos são considerados um dos responsáveis por grande parte dos impactos ambientais que ocorrem atualmente. Na sua grande maioria, são considerados perigosos e acarretam consequências negativas não apenas para o meio ambiente, mas também para a saúde da população (Costa, 2020).

Os subprodutos de frutas e vegetais são descartados na forma de sobras como sementes, polpa, casca ou bagaço, representando de 10 a 35% da massa bruta destes alimentos (Andrade, et al., 2016; Majerska et al., 2019; Rao et al., 2019). Geralmente, os resíduos de frutas e vegetais são usados como ração animal ou para a produção de biomateriais, biocombustíveis, biogás, produtos químicos de plataforma e biofertilizantes por meio de processos biológicos como fermentação ou bioeletrogênese (Dahiya et al., 2017; Banerjee et al., 2017). Subprodutos também podem ser utilizados como substrato para produção de ácido láctico (com aplicações na indústria alimentícia, química e farmo-química) e podem dar origem ao PLA (polímero de ácido polilático) (Demichelis et al., 2017).

As embalagens consistem na tecnologia de entregar produtos seguros aos consumidores finais a preços econômicos. Quando se trata da conservação de produtos alimentícios, tal tecnologia é extremamente necessária, pois, desempenha a atribuição de oferecer produtos que são produzidos em determinados locais, disponíveis para os consumidores em outros locais, após dias ou até mesmo meses após a manufatura inicial (Pryadarshi; Rhim, 2020).

Como o próprio nome indica, a embalagem biodegradável é aquela produzida à base de materiais biodegradáveis, que se decompõem em compostos simples no processo de biodegradação sob a influência de leveduras, bactérias ou fungos. Por isso, cada vez mais atenção é dada aos materiais obtidos a partir de polímeros biodegradáveis e/ou ingredientes naturais que podem ser encontrados nos resíduos e subprodutos alimentares (Jamróz et al., 2022). No geral, as embalagens biodegradáveis podem ser projetadas na forma de filmes ou revestimentos comestíveis e apresentam em sua composição polímeros capazes de formar película e criar uma camada fina protetora na superfície dos alimentos sem interferir em suas propriedades organolépticas.

Os requisitos de barreira desses filmes e revestimentos comestíveis dependem da sua aplicação e das propriedades do alimento a ser protegido. Quando destinado para o revestimento de frutas e vegetais frescos, por exemplo, devem ter baixa permeabilidade ao vapor de água para reduzir as taxas de dessecação, enquanto a permeabilidade ao oxigênio deve ser baixa o suficiente para retardar a respiração, mas não muito baixa a ponto de criar condições anaeróbicas favoráveis à produção de etanol e formação de sabores indesejados (Viana et al., 2018).

Como alternativa viável para reduzir o custo de produção de filmes comestíveis e agregar valor aos subprodutos alimentares, a literatura também relata o uso de resíduos de processamento de frutas e vegetais para o desenvolvimento de filmes ou revestimentos comestíveis (Otoni, et al., 2017). Os sistemas de embalagem de alimentos possuem diferentes funções, incluindo aquelas relacionadas à contenção, informações nutricionais e marketing (Pirsa et al., 2020). Estes sistemas possuem como objetivo não somente garantir a segurança dos alimentos, mas também prolongar seu tempo de armazenamento e diminuir o impacto negativo dos polímeros sintéticos no meio ambiente (Otoni et al., 2017).

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo fornecer uma revisão bibliográfica recente sobre a produção de filmes biodegradáveis para alimentos a partir dos resíduos de frutas e vegetais da indústria alimentícia como alternativa para a redução de desperdícios, dos impactos ambientais e aumento da viabilidade de reaproveitamento dessas matérias-primas em potencial.

## **2. Metodologia**

O presente estudo é uma revisão narrativa e descritiva sobre evidências científicas referentes à produção de filmes biodegradáveis a partir dos resíduos de frutas e vegetais gerados pela indústria de alimentos. A pesquisa foi realizada envolvendo publicações sobre filmes biodegradáveis indexados nas bases de dados eletrônicas PubMed (US National Library of Medicine), Scientific Electronic Library Online Brasil (SciELO), Web of Science e Portal Capes. Os descritores que delimitaram a pesquisa foram: filmes biodegradáveis; revestimentos comestíveis; resíduos industriais; impacto ambiental e sustentabilidade, em português e inglês. Os artigos selecionados foram obtidos e revisados buscando informações relacionadas

a aproveitamento de resíduos de frutas e vegetais. Todo o processo envolveu atividades de busca, leitura exploratória e resumos, seleção dos estudos considerados adequados aos objetivos do estudo, análise completa dos textos e por fim, a realização de leitura e escrita interpretativas. Todas as figuras e tabelas foram elaboradas pelos próprios autores através da assinatura da ferramenta Canva Pro ([https://www.canva.com/pt\\_br/pro/](https://www.canva.com/pt_br/pro/)), de onde também foram retiradas todas as imagens utilizadas no decorrer do artigo.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Resíduos de frutas e vegetais na indústria de alimentos

Sabe-se que a indústria de alimentos é uma das principais transformadoras de produtos. O crescimento populacional e o aumento da demanda por alimentos têm influenciado tanto o aspecto quantitativo, para suprir a necessidade alimentar da população, quanto qualitativo, a fim de manter parâmetros de qualidade e segurança alimentar, e tem sido alvo de intensificação nos estudos científicos nos últimos anos (Guerra et al., 2015).

O produto alimentício é o foco da produção na indústria de alimentos, contudo, além deste, são gerados outros materiais, tais como os resíduos – que é a parte da matéria-prima não utilizada ou rejeitada durante o processamento do produto principal. Podendo se apresentar na forma líquida ou sólida, como no caso dos bagaços (Sá Leitão, 2012). Os resíduos mais abundantes são representados por subprodutos de frutas e vegetais, incluindo raízes e tubérculos, em torno de 40–50% do total de descartes. (Dilucia et al., 2020).

Normalmente, as camadas mais externas da fruta e as pontas dos vegetais são removidas durante o processamento, principalmente durante as etapas de corte e prensagem (Ferreira et al., 2015; Andrade et al., 2014). Esses resíduos são constituídos essencialmente por cascas, sementes, polpa ou bagaço, e caules, que representam o 10-35% da massa bruta, conforme apresentado na Figura 2. Exemplos de resíduos industriais de frutas e vegetais são o bagaço de uva e azeitona derivados da produção de vinho e azeite; a casca e o bagaço de frutas (maçãs, peras, pêssegos, frutas cítricas, mirtilos, mangas, etc.) provenientes de indústrias de sucos, geleias e compotas; e os resíduos provenientes de vegetais (batata, tomate e cebola, bagaço de cenoura) (Dilucia et al., 2020).

**Figura 2** - Resíduos gerados no processamento de frutas e vegetais.



Fonte: Autores (2022).

Em geral, os resíduos de frutas e vegetais são fontes naturais de compostos bioativos como açúcares simples (glicose e frutose); carboidratos; polissacarídeos; pectina; fibras e moléculas bioativas valiosas como ácidos fenólicos, carotenoides, tocoferóis, flavonoides, vitaminas e compostos aromáticos (Dilucia et al., 2020). Esses compostos podem ser utilizados para a fabricação de diversos produtos (Ferreira et al., 2015; Andrade et al., 2014).

De acordo com Brito et al., (2019), já existem várias pesquisas direcionadas ao aproveitamento desses resíduos de maneira sustentável, visando agregar valor a outros produtos ou mesmo produzir novos produtos, como as farinhas. O desenvolvimento de revestimentos e filmes biodegradáveis, por exemplo, produzidos a partir de biopolímeros extraídos de resíduos alimentares tem atraído significativa atenção da comunidade científica. Eles têm sido usados como estratégia sustentável para estender a vida de prateleira de produtos alimentícios, pois reduzem a perda de umidade e compostos voláteis, bem como as taxas respiratórias e a produção de etileno (Azeredo, et al., 2012). Além disso, podem agregar valor a esses produtos, pois carregam compostos bioativos capazes de retardar a descoloração, o crescimento bacteriano, entre outros (Crizel et al., 2016; Du et al., 2011).

Dentre a variedade de compostos disponíveis para a produção de filmes e revestimentos biodegradáveis, os resíduos sólidos de frutas e vegetais apresentam benefícios potenciais, pois são produzidos em larga escala e sua utilização converte resíduos vegetais em produtos de valor agregado ou funcionais (Ferreira et al., 2015, Fahd et al., 2012). Portanto, sua reutilização em embalagens de alimentos deverá contribuir significativamente para o desenvolvimento de novas alternativas, considerando o valor do mercado global de embalagens plásticas de alimentos.

### **3.2 Embalagens plásticas para alimentos**

Segundo a Associação Brasileira de Embalagens (ABRE, 2019), os plásticos respondem por 53% da produção total de embalagens. Suas principais vantagens são: leveza, baixo custo, alta resistência mecânica e química, flexibilidade, possibilidade de aditivos e reciclabilidade (Henningsson et al., 2004; Schwark, 2009). Por outro lado, podem ter permeabilidade variável à luz, gás, vapor e moléculas de baixo peso molecular, além de não serem biodegradáveis e levarem cerca de 100 anos para se degradar completamente (Santos & Yoshida, 2011).

A produção de embalagens plásticas costumam emitir gases poluentes ao meio ambiente além da dependência de petróleo, recurso natural não renovável do planeta. No entanto, devido à diversidade e versatilidade dos polímeros, eles proporcionam à sociedade avanços tecnológicos, economia de energia e outros benefícios por meio da produção de diversos produtos (Andrady; Neal, 2009).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST, 2013), atualmente os polímeros mais consumidos são:

- Poli(etileno tereftalato) (PET);
- Polietileno de alta densidade (PEAD);
- Poli(cloreto de vinila) (PVC);
- Polietileno de baixa densidade (PEBD/PELBD);
- Polipropileno (PP);
- Poliestireno (PS);
- Acrilonitrilaextireno/resina (ABS/SAN) e
- Espuma Vinílica Acetinada (EVA).

Dentre as opções de embalagens plásticas, o PET é um tipo de termoplástico que, por sua alta resistência mecânica e química, exerce excelente barreira a gases e odores, reciclabilidade, leveza, ductilidade e alta transparência, e tem sido amplamente utilizado na indústria de bebidas. No entanto, o principal problema dessas indústrias é a migração dos componentes do polímero para os alimentos (Bach et al., 2013).

A produção em massa e o uso de plásticos levam ao descarte em massa, que na maioria das vezes é desordenado e tem impacto sobre o meio ambiente. Na atualidade, pode-se constatar que, principalmente nas grandes cidades, os problemas de enchentes são ocasionados pelo descarte e ausência de consciência da própria população, das indústrias e dos sistemas ineficientes de coletas de lixo.

### **3.3 Embalagens biodegradáveis**

Atualmente, percebe-se que os consumidores buscam alimentos mais naturais, de alta qualidade e mais seguros para o seu dia a dia. Além disso, procuram por alimentos que contenham embalagens que não aumentem a poluição e sejam produzidos por processos sustentáveis e de forma acessível (Mohamed & El-Sakhawy, 2020).

Nesse sentido, Priyadarshi e Rhim (2020) relatam que um material de embalagem de alimentos ideal é aquele que confere proteção à qualidade do alimento durante seu armazenamento, que seja portátil e fácil de usar, com custo relativamente baixo e que se caracterize como biodegradável ou renovável, isto é, sem causar acúmulos de resíduos sólidos urbanos.

Visto isso, filmes produzidos com polímeros biodegradáveis oferecem uma alternativa para embalagens sustentáveis e aumento da vida de prateleira de alimentos. O desenvolvimento de materiais biodegradáveis a partir de fontes renováveis e consequentemente redução do emprego de polímeros plásticos sintéticos reforçam o propósito de preservação ambiental que se espera da indústria de embalagens (Martins da Costa et al., 2020).

De modo geral, os biopolímeros são definidos como moléculas grandes sintetizadas por células e compostas por unidades químicas com certo grau de repetibilidade (Horue et al., 2021). Udayakumar et al. (2021) ressaltam que os biopolímeros são concorrentes futuros para os polímeros sintéticos devido aos seus atributos de eco-compatibilidade e biodegradabilidade, tornando-se superior aos sintéticos. Os mesmos podem ser classificados como biopolímeros naturais, biopolímeros sintetizados quimicamente e biopolímeros microbianos.

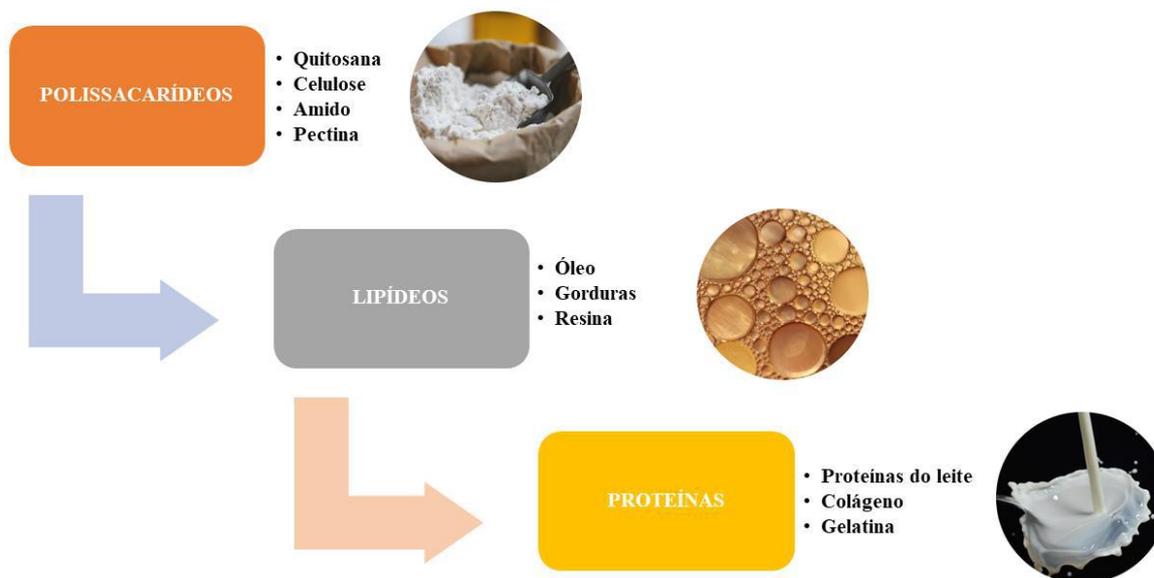
Como materiais de embalagem biológica alternativa, os biopolímeros devem apresentar propriedades ambientalmente amigáveis, não tóxicas, biocompatíveis e biodegradáveis ou compostáveis, sendo que essa biodegradação é realizada por meio da ação de enzimas e/ ou decomposição química associada a organismos vivos, tais como fungos e bactérias (Zhong et al., 2020).

Além dessas características, os biopolímeros são caracterizados por sua boa capacidade de formação de filmes e revestimentos comestíveis, com estrutura coesa, além de serem capazes de criar uma fina camada protegendo a superfície do alimento a ser embalado. Outro aspecto positivo, é que os filmes produzidos com polímeros biodegradáveis podem ter sua qualidade, estabilidade e vida útil estendida. Isso ocorre em detrimento desses filmes controlarem a troca de gases, umidade e lipídios entre o alimento e o ambiente externo, proteger contra a contaminação microbiana e prevenir perdas de compostos desejáveis, como os compostos voláteis de sabor (Kraśniewska; Galus; Gniewosz, 2020).

Além disso, os materiais de biopolímeros podem servir como transportadores de substâncias antioxidantes, antimicrobianas, agentes de cor e sabor, vitaminas e outros nutrientes, agregando assim o valor nutricional e as características sensoriais do produto em questão, se tornando uma ótima opção para a indústria de embalagem (Mihindukulasuriya & Lim, 2014; Otoni et al., 2017; Vodnar et al., 2015).

Entre os materiais biodegradáveis mais empregados em filmes para alimentos, destacam-se os polissacarídeos (quitosana, celulose, amido e pectina), lipídeos (óleos, gorduras e resinas) e proteínas (proteínas do leite, colágeno e gelatina) (Mohamed; El-Sakhawy; El-Sakhawy, 2020), o que pode ser observado na Figura 3.

**Figura 3** - Materiais biodegradáveis mais empregados em filmes para embalagens alimentícias.



Fonte: Autores (2022).

### 3.4 Filmes comestíveis

As coberturas 'comestíveis', também denominadas como filmes ou revestimentos comestíveis, são aplicadas ou formadas sobre a superfície dos alimentos (principalmente frutas), configurando membranas delgadas, imperceptíveis a olho nu e com inúmeras características estruturais, que são dependentes da formulação da solução filmogênica precursora (Assis, Brito 2014).

Nessa mesma linha, Pandey et al. (2022) relatam a diferença entre filmes e revestimentos comestíveis, que também podem ser chamados de biodegradáveis, que se dá principalmente na configuração do material. Se os mesmos são produzidos na forma de folha fina, são chamados de filmes comestíveis, no entanto, se são preparados na forma de solução líquida viscosa e os produtos são mergulhados ou pulverizados por ele, então são denominados de revestimentos (Pandey et al., 2022).

Beikzadeh e colaboradores (2020) mencionam que filmes comestíveis são veículos interessantes para o transporte de materiais antioxidantes, antimicrobianos, nanopartículas, sabores, enzimas, cores, vitaminas, minerais e probióticos. No qual, esses materiais podem aprimorar as propriedades mecânicas e de barreira dos filmes, e conseqüentemente aumentar a vida de prateleira do alimento a ser embalado, bem como, melhorar suas características sensoriais e nutritivas.

Em seu trabalho de caracterização de cobertura comestível a base de alginato e óleos essenciais, Cherman et al. (2022) constataram resultados positivos nas amostras adicionadas de óleos essenciais, sem interferência na espessura e solubilidade a água das amostras. Concluíram ainda que a adição de óleos essenciais em coberturas comestíveis as tornam mais resistentes se comparadas com as amostras sem essa adição. Observe na Tabela 1 um comparativo das principais características das embalagens plásticas, biodegradáveis e dos filmes comestíveis.

**Tabela 1** – Principais características das embalagens plásticas, biodegradáveis e dos filmes comestíveis.

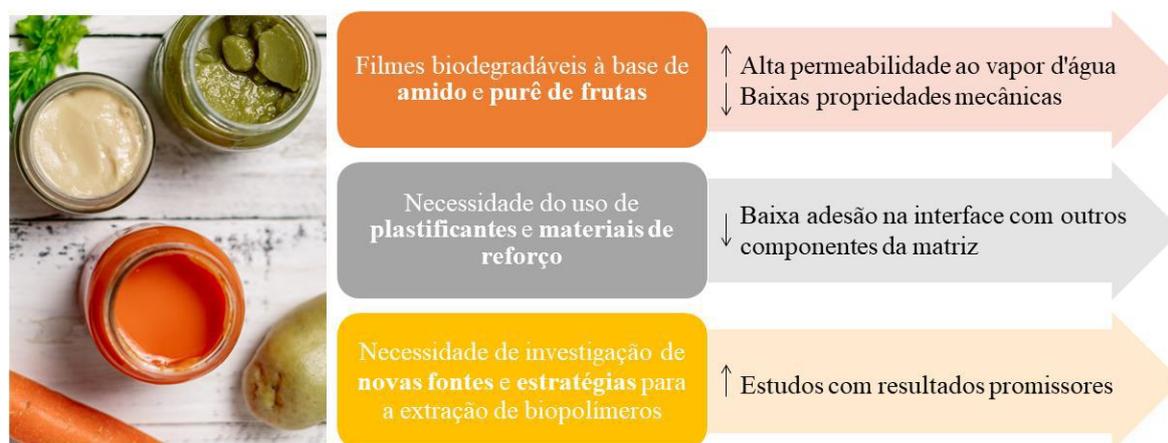
	EMBALAGENS PLÁSTICAS	EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS	FILMES COSMETÍVEIS
<b>COMPOSIÇÃO</b>	Polímeros	Biopolímeros	Biopolímeros
<b>ORIGEM</b>	Fontes não renováveis Petróleo	Resíduos orgânicos Fontes Renováveis Matéria Orgânica	Resíduos orgânicos Fontes Renováveis Matéria Orgânica
<b>FUNÇÃO</b>	Proteção Possíveis interações negativas com os alimentos	Proteção	Proteção Possíveis interações positivas com os alimentos
<b>DEGRADAÇÃO</b>	Degradação Lenta	Degradação Rápida	Sem necessidade de degradação Podem ser ingeridos
<b>SUSTENTABILIDADE</b>	Poluente	Sustentável	Sustentável
<b>EXEMPLOS</b>	Sacolas plásticas Plástico filme	Caixas de papelão Sacolas de papel reciclado	Filmes elaborados a partir do amido de milho ou da proteína de soja
			

Fonte: Autores (2022).

### 3.5 Filmes a base de farinha e/ou resíduos industriais

Filmes biodegradáveis, principalmente aqueles à base de amido e purê de frutas, apresentam alta permeabilidade ao vapor d'água e baixas propriedades mecânicas, sendo necessário o uso de plastificantes e materiais de reforço (Martelli et al., 2013; Park & Zhao, 2006). Contudo, muitos desses materiais resultam em má adesão na interface com outros componentes da matriz (Brito et al., 2011; Souza et al., 2021). As principais características de filmes biodegradáveis elaborados a partir de amido e purê de frutas e vegetais podem ser observadas na Figura 4.

**Figura 4** - Principais características de filmes biodegradáveis elaborados a partir de amido e purê de frutas e vegetais.



Fonte: Autores (2022).

Assim, faz-se necessária a investigação de novas fontes, bem como o desenvolvimento de novas estratégias, para auxiliar na extração de biopolímeros de matrizes vegetais (Brito et al., 2019). Estudos anteriores, utilizando farinhas como

matéria-prima para obtenção de biomateriais, encontraram resultados promissores como filmes homogêneos com alta flexibilidade e sem adição de plastificante (Andrade et al., 2016). Na Tabela 2 encontram-se as informações mais relevantes referentes a esses estudos.

**Tabela 2** - Estudos recentes que utilizaram farinhas e resíduos industriais para a produção de filmes biodegradáveis, suas características e aplicações.

TIPO DE RESÍDUO	CARACTERÍSTICAS DO FILME	APLICAÇÕES	AUTORES
Beterraba e Repolho roxo em pó	Filmes compostos de pectina enriquecidos com betalaínas ou antocianinas/ Menor estresse de ruptura e maior hidrofobicidade dos filmes	Embalagens de corantes ativos com aplicação em alimentos com pHs entre 4 e 8 e com vida útil de 30 dias	González et al. (2021)
Farinha de casca de banana, Amido e Extrato de folha de nêspera	Veículos potenciais para compostos antioxidantes/ Revestimento ativo de embalagens	Filme biodegradável de proteção para alimentos perecíveis durante o seu armazenamento	Medeiros Silva et al. (2020)
Amora em pó e Amido de araruta	Melhoria da solubilidade em água, permeabilidade ao vapor de água, propriedades de resistência a tração e capacidade de alongamento	Filmes cosmetíveis para alimentos diversos	Nogueira et al. (2019)
Farinha de banana em pó/ Nanopartículas de Amido de Banana	Embalagem ecologicamente correta/ Extensão da vida útil dos alimentos embalados	Proporciona a melhoria de propriedades mecânicas e de barreira à água de filmes comestíveis elaborados a partir de biopolímeros	Orsuwan & Sothornvit (2017)
Mirtilo em pó e Amido de milho	Filme indicador de pH	Filmes cosmetíveis para alimentos diversos	Luchese et al. (2017)
Farinha de resíduos vegetais obtidos no processamento de sucos de frutas e vegetais inteiros (partes comestíveis e não comestíveis)	Filmes autônomos e flexíveis	Filmes e revestimentos comestíveis	Ferreira et al. (2016)
Farinha de Resíduos de frutas e vegetais	Filmes autônomos e flexíveis	Filmes e revestimentos comestíveis	Andrade et al. (2016)
Casca de maçã em pó e Pectina de açaí	Melhora na resistência à tração de materiais de embalagens comestíveis	Embalagens/ filmes comestíveis para alimentos diversos	Pérez Espitia et al. (2014)

Fonte: Autores (2022).

### 3.6 Caracterização e propriedades dos filmes

No desenvolvimento de embalagens biodegradáveis é importante garantir que todos os componentes misturados nas matrizes poliméricas sejam dispersos eficiente e uniformemente para obter as propriedades desejadas comparáveis com os materiais de embalagem de polímero à base de petróleo comumente usados.

Geralmente, a inclusão de resíduos e subprodutos de alimentos à base de plantas nos filmes é inferior a 5% (m/m) considerando as propriedades finais otimizadas. Os biopolímeros que são materiais de base compatíveis para esses resíduos são proteínas e amido vegetais, quitosana e polímeros biodegradáveis conhecidos, como o álcool polivinílico e ácido polilático (Zhang & Sablani, 2021). De acordo com diversos estudos realizados, a inclusão de componentes de resíduos de frutas e vegetais demonstrou melhorias nas propriedades físicas, mecânicas, capacidade antioxidante e capacidade antimicrobiana das embalagens.

#### 3.6.1 Propriedades físicas e mecânicas

Os requisitos dos filmes e revestimentos em termos de propriedades físicas e mecânicas permitem determinar a resistência do material e dependem das características do alimento a ser protegido (Dilucia et al., 2020). Várias tentativas foram feitas usando amido, celulose e quitosana como o material primário, os quais são polímeros naturais abundantes

extraídos de diversos resíduos vegetais que apresentam boas propriedades mecânicas e benefícios ambientais a baixo custo (Ganesh et al., 2021).

Geralmente, a resistência à tração dos filmes fabricados com resíduos vegetais está na faixa de 0,7-68,5 MPa em comparação com 7,0177 MPa para os filmes poliméricos típicos comumente usados, especialmente o polietileno de baixa densidade (Zhang & Sablani, 2021). Porém, no caso da porcentagem de alongamento na ruptura da maioria dos filmes assim obtidos é menor do que aquela de produtos comerciais, devido a que a adição de cargas reduz a mobilidade molecular das cadeias de polímero resultando em flexibilidade insatisfatória. Ou seja, quando o bioplástico tem mais recheio, tem mais resistência e se torna difícil de esticar e alongar (Lubis et al., 2018). Assim, a composição e estrutura do filme, e as interações intermoleculares são fatores importantes que afetam as propriedades mecânicas dos filmes.

Por outro lado, Rodsamran e Sothornvit (2019) mencionam que a baixa capacidade de absorção de água e altas barreiras contra umidade e gás são propriedades importantes para embalagens de alimentos geralmente preferidos, principalmente para produtos perecíveis. Nesse contexto, a adição de resíduos e subprodutos de alimentos vegetais pode alterar a hidrofobicidade geral da embalagem (reduzir os grupos de hidrogênio disponíveis) ou estrutura de rede do biopolímero, que aumenta a tortuosidade no caminho das moléculas de água. Assim, a permeabilidade à água para materiais de embalagem reforçados com resíduos vegetais pré tratados ou melhorados são pelo menos 2–3 magnitudes maiores do que aqueles de polímeros comerciais como polietileno, poliestireno e Nylon (Zhang & Sablani, 2021). Na Tabela 3 podemos observar a influência nas propriedades físicas e mecânicas dos filmes produzidos a partir de resíduos apresentada por diversos autores.

**Tabela 3 -** Influência nas propriedades físicas e mecânicas dos filmes produzidos a partir de resíduos.

RESÍDUO	BIOPOLÍMERO	PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS	AUTORES
Pó da casca de romã	Proteína de feijão	> Espessura, resistência a tração, permeabilidade ao vapor de água	Moghadam et al. (2020)
Casca de limão	Pectina e Extrato da casca de limão	Melhora na barreira a água	Rodsamran & Sothornvit (2019)
Pó da casca de maçã e Extrato de semente de uva	Carboximetilcelulose	< Alongamento na quebra, solubilidade, permeabilidade ao vapor de água. > Resistência a tração	Munir et al. (2019)
Caroço de manga	Gelatina de peixe e Isolado de proteína de soja	> Espessura, resistência a tração e < Solubilidade em água e alongamento na ruptura	Adilah, Jamilah & Hanani (2018)
Farinha de bagaço de azeitona	Quitosana	< Resistência a tração	Crizel et al., 2018
Casca de cacau	Semente da jaca e Celulose microcristalina de casca de vagem	> Resistência a tração e < Alongamento na ruptura	Lubis et al. (2018)
Casca de batata	Amido de batata	> Resistência a tração	Zhao & Saldaña (2019)

Fonte: Autores (2022).

### 3.6.2 Propriedade antioxidante

Os resíduos de frutos vermelhos, roxos, entre outros, possuem componentes naturais com grande potencial antioxidante, e demonstraram aplicações bem-sucedidas na prevenção da oxidação de alimentos ricos em lipídios.

Nos estudos feitos por Moghadam et al. (2020) e Rodsamran & Sothornvit (2019), a incorporação do pó de casca de romã e do extrato de casca de limão nos filmes, respectivamente, aumentou o teor de fenólicos totais e a atividade antioxidante

do filme. A casca de limão retardou a oxidação do óleo de soja, da estabilização do nível de malonaldeído durante 30 dias de armazenamento do produto.

Nos filmes desenvolvidos por Choi et al. (2017) utilizando pó de casca de maçã e carboximetilcelulose, extrato de casca de maçã e ácido tartárico, as atividades antioxidantes foram significativamente aumentadas em função da concentração do extrato. Além disso, filmes bioativos que continham extrato de casca de ameixa preta em conjunto com quitosana e nanopartículas de óxido de titânio apresentaram forte atividade de eliminação de radicais livres em até aproximadamente 60-90% e grande capacidade de eliminação de etileno em comparação com os filmes sem adição do resíduo. Devido às antocianinas abundantes no extrato, as cores dos filmes foram sensíveis ao pH do produto embalado (Zhang et al., 2019).

Por outro lado, o filme ativo de quitosana incluindo micropartículas de farinha e bagaço de azeitona foi eficaz como embalagem protetora contra a oxidação de nozes durante 31 dias de armazenamento, pois resultou em valores de peróxido significativamente mais baixos em comparação com o controle e os filmes plásticos de polietileno. Nesta fase, os estudos das propriedades antimicrobianas e antioxidantes das embalagens biodegradáveis reforçadas com PWB continuam focados na fase *in vitro* (Crizel et al., 2018).

Filmes biodegradáveis contendo extrato de casca de abacate e óleo de soja/tocoferol, também se apresentam como embalagem ativa pela sua forte atividade antioxidante (Jafarzadeh et al., 2020). Segundo Ferreira et al. (2019), um extrato ainda pouco explorado e que pode ser objeto de estudos futuros devido às características dos seus compostos bioativos são as folhas da batata yacon (*Smallanthus sonchifolius*).

### 3.6.3 Propriedade antimicrobiana

Os resíduos vegetais, especialmente na forma de extratos, também podem melhorar as propriedades antimicrobianas da embalagem biodegradável contra bactérias gram-positivas ou gram-negativas típicas, minimizando sua taxa de crescimento e estendendo a fase de latência, e assim prolongar a vida útil dos alimentos embalados, A atividade antimicrobiana resulta pela presença de compostos fenólicos, flavonóides e não flavonóides, ácidos orgânicos, antocianinas, óleos essenciais, fibra alimentar e minerais (Zhang & Sablani, 2021; Dilucia et al., 2020), que podem ser usados em combinação com polímeros básicos no filme. Sua eficácia antimicrobiana possui dependência da concentração e combinações de múltiplos componentes (Jafarzadeh et al., 2020). No entanto, as ações antimicrobianas dos compostos de resíduos ainda precisam ser mais investigadas, mas, pelo menos, algumas delas exibiram grande potencial.

O filme à base em quitosana, nanopartículas de óxido de titânio e extrato de casca de ameixa preta desenvolvido por Zhang et al. (2019) apresentou forte atividade antibacteriana contra *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* e *Listeria monocytogenes* (em maior potencial contra as bactérias Gram-positivas do que as Gram-negativas) devido ao alto teor de compostos fenólicos do extrato que causam a desestabilização da membrana citoplasmática e a permeabilização da membrana celular da bactéria, e provavelmente devido também ao efeito sinérgico dos componentes incorporados.

Adilah et al., (2018) mostraram que a incorporação do extrato de caroço de manga aumentou a atividade antioxidante aumentou (89%) em níveis mais altos de extrato em ambos os filmes, com um efeito maior observado em filmes de isolado de proteína em comparação com filmes de gelatina de peixe.

Filme de quitosana ativo carregado com extrato de semente de uva foi produzido e utilizado para embalar filés de peito de frango. A eficácia antimicrobiana preliminar do extrato sobre *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* e *Pseudomonas aeruginosa* confirmou a maior sensibilidade das bactérias Gram-positivas. O filme ativo com 15% de extrato manteve a proliferação microbiana abaixo do limite de aceitabilidade durante 15 dias de armazenamento em refrigeração, enquanto no filme controle a carne tornou-se inaceitável em poucos dias (Sogut & Seydim, 2018).

#### 4. Considerações Finais

Nos últimos anos, o interesse em aproveitar resíduos de processos agroindustriais como cascas, peles, bagaços e sementes aumentou significativamente, devido à grande quantidade gerada de resíduos, à necessidade de enfrentar o problema de descarte e ao seu valor reconhecido como fonte de compostos bioativos (polissacarídeos, fibras, compostos fenólicos, vitaminas, minerais, entre outros).

Por outro lado, o impacto negativo no meio ambiente gerado pelos polímeros sintéticos derivados do petróleo abre caminho para o desenvolvimento de alternativas mais ecológicas e renováveis de materiais para embalagens e revestimentos comestíveis de alimentos. De acordo com diversos estudos, muitos resíduos de frutas e vegetais foram propostos para melhorar as propriedades de materiais plásticos sintéticos ou de base biológica que, em muitos casos, também foram aplicados com sucesso a produtos perecíveis reais.

Portanto, filmes e revestimentos com características físicas, mecânicas, micro estruturais, térmicas, antioxidantes e antimicrobianas adequadas podem ser obtidos. Porém, ainda existem muitas lacunas para o desenvolvimento de trabalhos futuros com o intuito de aperfeiçoamento técnico gerando o aumento de escala para que, assim, esses materiais tornem-se tão vantajosos comercial e economicamente quanto às embalagens, filmes e coberturas desenvolvidos com polímeros sintéticos.

Por fim, a ampla difusão das vantagens concretas, os custos de investimento e o impacto futuro no meio ambiente realmente promoveria a valorização de resíduos de frutas e vegetais quando comparada a materiais plásticos.

#### Agradecimentos

Agradecemos a professora Dra. Angélica Marquetotti Salcedo Vieira do Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos da Universidade Estadual de Maringá que nos incentivou e apoiou no desenvolvimento desse estudo.

#### Referências

- Adilah, Z. A. M., Jamilah, B., & Hanani, Z. A. N. (2018). Functional and antioxidant properties of protein-based films incorporated with mango kernel extract for active packaging. *Food Hydrocolloids*, 74, 207-218.
- Andrade, R. M. S., Ferreira, M. S. L., & Gonçalves, E. C. B. A. (2014). Functional capacity of flour obtained from residues of fruit and vegetables. *International Food Research Journal*, 21(4), 1675.
- Andrade, R. M. S., Ferreira, M. S. L., & Gonçalves, E. C. B. A. (2016). Development and characterization of edible films based on fruit and vegetable residues. *Journal of Food Science*, 81(2), 412-418.
- Andrady, A. L. & Neal, M. A. Applications and societal benefits of plastics (2009). *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 364(1526), 1977-1984.
- Associação Brasileira da Indústria do Plástico – ABIPLAST (2013). *Indústria Brasileira de Transformação de Material Plástico. Perfil 2013*, 15.
- Associação Brasileira de Embalagens – ABRE (2019). Estudo macroeconômico da embalagem e cadeia de consumo.
- Azeredo, H. M., Miranda, K. W., Rosa, M. F., Nascimento, D. M., & de Moura, M. R. (2012). Edible films from alginate-acerola puree reinforced with cellulose whiskers. *LWT-Food Science and Technology*, 46(1), 294-297.
- Bach, C., Dauchy, X., Severin, I., Munoz, J-F., Etienne, S., & Chagnon, M. C., (2013). Effect of temperature on the release of intentionally and non-intentionally added substances from polyethylene terephthalate (PET) bottles into water: Chemical analysis and potential toxicity. *Food Chemistry*, 139(1-4), 672-680.
- Banerjee, J., Singh, R., Vijayaraghavan, R., MacFarlane, D., Patti, A. F., & Arora, A. (2017). Bioactives from fruit processing wastes: Green approaches to valuable chemicals. *Food chemistry*, 225, 10-22.
- Brito, G. F., Agrawal, P., Araújo, & E. M. Mélo, T. J. A. (2011). Biopolymers, biodegradable polymers and green polymers. *Revista Eletrônica de Materiais e Processo*, 6(2), 127-139.
- Brito, T. B., Carrajola, J. F., Gonçalves, E. C. B. A., Martelli-Tosi, M., & Ferreira M. S. L. (2019). Fruit and vegetable residues flours with different granulometry range as raw material for pectin-enriched biodegradable film preparation. *Food Research International*, 121, 412-421.
- Cherman, K. A., Scapim, M. R. S., Silva, J. F., & Madrona, G. S. (2022). Caracterização de cobertura comestível a base de alginato e óleos essenciais. *Research, Society and Development*, 11 (2), 1-8.

- Choi, I., Chang, Y., Shin, S., Joo, E., Song, H. J., Eom, H., & Han, J. (2017). Development of Biopolymer Composite Films using a Microfluidization Technique for Carboxymethylcellulose and Apple Skin Particles. *International Journal of Molecular Sciences*, 18, 1278.
- Costa, A. S. V. (2020). Resíduos industriais como matéria prima na produção de fertilizantes e utilização no cultivo de milho e feijão. *Research, Society and Development*, 9(8), 1-4.
- Crizel, T. M., Costa, T. M. H., de Oliveira Rios, A., & Flôres, S. H. (2016). Valorization of food-grade industrial waste in the obtaining active biodegradable films for packaging. *Industrial Crops and Products*, 87, 218-228.
- Crizel, T. M., Rios, A. O., Alves, V. D., Bandarra, N., Moldão-Martins, M., & Flôres, S. H. (2018). Active food packaging prepared with chitosan and olive pomace. *Food Hydrocolloids*, 74, 139-150.
- Dahiya, S., Kumar, A. N., Sravan, J. S., Chatterjee, S., Sarkar, O., & Mohan, S. V. (2018). Food waste biorefinery: Sustainable strategy for circular bioeconomy. *Bioresource technology*, 248, 2-12.
- Demichelis, F., Pleissner, D., Fiore, S., Mariano, S., Gutiérrez, I. M. N., Schneider, R., & Venus, J. (2017). Investigation of food waste valorization through sequential lactic acid fermentative production and anaerobic digestion of fermentation residues. *Bioresource technology*, 241, 508-516.
- Dilúcia, F., Lacivita, V., Conte, A., & Del Nobile, M. A. (2020). Sustainable Use of Fruit and Vegetable By-Products to Enhance Food Packaging Performance. *Foods*, 9(7), 857.
- Du, W. X., Olsen, C. W., Avena-Bustillos, R. J., Friedman, M., & McHugh, T. H. (2011). Physical and antibacterial properties of edible films formulated with apple skin polyphenols. *Journal of Food Science*, 76(2), 149-155.
- Fahd, S., Fiorentino, G., Mellino, S., & Ulgiati, S. (2012). Cropping bioenergy and biomaterials in marginal land: the added value of the biorefinery concept. *Energy*, 37(1), 79-93.
- Fai, A. E. C., de Souza, M. R. A., Barros, S. T., Bruno, N. V., Ferreira, M. S. L., & Gonçalves, É. C. B. A. (2016). Development and evaluation of biodegradable films and coatings obtained from fruit and vegetable residues applied to fresh-cut carrot (*Daucus carota L.*). *Postharvest Biology and Technology*, 112, 194-204.
- FAO - Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y no Caribe (2016). *Organización de las Naciones Unidas for la Alimentación y la Agricultura*, 23.
- Ferreira, B. M. R., Dagostin, J. L. A., de Andrade, E. F., Takashina, T. A., Ellenderson, L. S. N., Masson, M. L. (2019). Relationship Between Parameters of Development and Functional Compounds of Yacon Leaves. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 62, 1-14.
- Ferreira, M. S. L., Fai, A. E. C., Andrade, C. T., Picciani, P. H., Azero, E. G., & Gonçalves, É. C. B. A. (2016). Edible films and coatings based on biodegradable residues applied to acerolas (*Malpighia punicifolia L.*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(5), 1634-16.
- Ferreira, M. S., Santos, M. C., Moro, T. M., Basto, G. J., Andrade, R. M., & Gonçalves, É. C. (2015). Formulation and characterization of functional foods based on fruit and vegetable residue flour. *Journal of food science and technology*, 52(2), 822-830.
- Ganesh, K. S., Sridhar, A., & Vishali, S. (2021). Utilization of fruit and vegetable waste to produce value-added products: Conventional utilization and emerging opportunities - A review. *Chemosphere*, 287(3), 132221.
- González, C. M. O., De Nobilia M. D., Rojas, A. M., Basanta, M. F., & Gerschenson, L. N. (2021). Development of functional pectin edible films with fillers obtained from red cabbage and beetroot. *Institute of Food Science & Technology*, 56(8), 3662-69.
- Guerra, M. P. Rocha, F. S.; & Nodari, R. O. (2015). Biodiversidade, Recursos Genéticos Vegetais e Segurança Alimentar em um Cenário de Ameaças e Mudanças. In: Veiga, F. R. A.; Queiróz, M. A. (Eds). Recursos Fitogenéticos: A Base da Agricultura Sustentável no Brasil. Brasília: SBRG, 39-52.
- Hanani, Z. A. N., Husna, A. B. A., Syahida, S. N., Khaizura, M. A. B. N., & Jamilah, B. (2018). Effect of different fruit peels on the functional properties of gelatin/polyethylene bilayer films for active packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 18, 201-211.
- Henningson, S., Hyde, K., Smith, A., & Campbell, M. (2004). The value of resource efficiency in the food industry: a waste minimisation project in East Anglia UK. *Journal of Cleaner Production*, 12(5), 505-512. In: Horue, M.; Berti, I. R.; Cacicedo, M. L.; & Castro, G. R. (2021). Microbial production and recovery of hybrid biopolymers from wastes for industrial applications - a review. *Bioresource Technology*, 340, 125671.
- Infante, J.; Selani, M. M.; Toledo, N. M. V.; Silveira, M. F.; Alencar, S. M.; & Spoto, M. H. F. (2013). Atividade antioxidante de resíduos agroindustriais de frutas tropicais. *Alimentos e Nutrição*, 24(1), 92.
- Jafarzadeh, S., Jafari, S. M., Salehabadi, A., Nafchi, A. M., Kumar, U. S. U., & Khalil, H. P. S. A. (2020). Biodegradable green packaging with antimicrobial functions based on the bioactive compounds from tropical plants and their by-products. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 262-277.
- Jamróz, E., Tkaczewska, J., Kopec, M., & Cholewa-Wojcik, A. (2022). Shelf-life extension of salmon using active total biodegradable packaging with tea ground waste and furcellaran-CMC double-layered films. *Food chemistry*, 383, 132425.
- Krasniewska, K.; Galus, S.; & Gniewosz, M. (2020). Biopolymers-based materials containing silver nanoparticles as active packaging for food applications—A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 21, 3.
- Leitão B. & Leitão, C. S. S. (2012). Sustentabilidade e elaboração de novos produtos através do aproveitamento residual alimentar. *Revista de produção Acadêmico-Científica do Ciesa*, 2 (2), 97-104.

- Lubis, M., Gana, A., Maysarah, S., Ginting, M. H. S., & Harahap, M. B. (2018). Production of bioplastic from jackfruit seed starch (*Artocarpus heterophyllus*) reinforced with microcrystalline cellulose from cocoa pod husk (*Theobroma cacao* L.) using glycerol as plasticizer. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 309(1), 012100.
- Luchese, C. L., Sperotto, N., Spada, J. C., & Tessaro, I. C., (2017). Effect of Blueberry Agro-Industrial Waste Addition to Corn Starch-Based Films for the Production of a Ph-Indicator Film. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104(A), 11-18.
- Majerska, J., Michalska, A., & Figiel, A. (2019). A review of new directions in managing fruit and vegetable processing by-products. *Trends in food science & technology*, 88, 207-219.
- Martelli, M. R., Barros, T. T., de Moura, M. R., Mattoso, L. H. C., & Assis, O. B. G. (2013). Effect of Chitosan Nanoparticles and Pectin Content on Mechanical Properties and Water Vapor Permeability of Banana Puree Films. *Journal of Food Science*, 78(1), 98-104.
- Martins da Costa, J. C., Miki, K. S. L., Ramos, A. S., & Teixeira-Costa, B. E. (2020). Development of biodegradable films based on purple yam starch/chitosan for food application. *Heliyon*, 6, 4.
- Medeiros Silva, V.D.; Coutinho Macedo, M.C.; Rodrigues, C.G.; Neris dos Santos, A.; de Freitas e Loyola, A.C.; & Fante, C.A. (2020). Biodegradable edible films of ripe banana peel and starch enriched with extract of *Eriobotrya japonica* leaves. *Food Bioscience*, 38, 100750.
- Mihindukulasuriya, S. D. F. & Lim, L. T. (2014). Nanotechnology development in food packaging: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 40(2), 149–167.
- Moghadam, M., Salami, S., Mohammadian, M., Khodadadi, M., & Emam-Djomeh, Z. (2020). Development of antioxidant edible films based on mung bean protein enriched with pomegranate peel. *Food Hydrocolloids*, 104, 105735.
- Mohamed, S. A. A.; El-Sakhawy, M.; & El-Sakhawy, M. A. M. (2020). Polysaccharides, Protein and Lipid -Based Natural Edible Films in Food Packaging: A Review. *Carbohydrate Polymers*, 238, 116178.
- Munir, S., Hu, Y., Liu, Y., & Xiong, S. (2019). Enhanced properties of silver carp surimi-based edible films incorporated with pomegranate peel and grape seed extracts under acidic condition. *Food Packaging and Shelf Life*, 19, 114-120.
- Nogueira, G.F.; Fakhouri, F.M.; & de Oliveira, R.A. (2019). Effect of incorporation of blackberry particles on the physicochemical properties of edible films of arrowroot starch. *Dry. Technoogy*, 37, 448–457.
- Orsuwan, A. & Sothornvit, R. (2017). Development and characterization of banana flour film incorporated with montmorillonite and banana starch nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 174, 235-242.
- Orsuwan, A. & Sothornvit, R. (2015). Effect of miniemulsion cross-linking and ultrasonication on properties of banana starch. *International Journal of Food Science and Technology*, 50, 298–304
- Otoni, C. G., Avena-Bustillos, R. J., Azeredo, H. M., Lorevice, M. V., Moura, M. R., Mattoso, L. H., & McHugh, T. H. (2017). Recent advances on edible films based on fruits and vegetables - a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 1151-1169.
- Park, S. & Zhao, Y., (2006). Development and Characterization of Edible Films from Cranberry Pomace Extracts. *Journal of Food Science*, 2, 95-101.
- Pelissari, F. M., Andrade-Mahecha, M. M., Sobral, P. J. A., & Menegalli, F. C. (2013). Comparative study on the properties of flour and starch films of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). *Food Hydrocolloids*, 30, 681–690.
- Pérez Espitia P.J., Avena-Bustillos R.J., Du W.X., Teófilo R.F., Soares N.F.F., & McHugh T.H. (2014). Optimal antimicrobial formulation and physical-mechanical properties of edible films based on açai and pectin for food preservation. *Food Packag Shelf Life*, 2(1), 38-49.
- Pirouzifard, M., Yorghanlu, R.A., & Pirsá, S. (2019). Production of active film based on potato starch containing Zedo gum and essential oil of *Salvia officinalis* and study of physical, mechanical, and antioxidant properties. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 33(7), 915-937.
- Pirsá, S., Mohtarami, F., & Kalantari, S. (2020). Preparation of biodegradable composite starch/tragacanth gum/nanoclay film and study of its physicochemical and mechanical properties. *Chemical Review and Letters*, 3(3), 98-103.
- Priyadarshi, R.; Rhim, J. W. (2020). Chitosan-based biodegradable functional films for food packaging applications. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 62, 102346.
- Rao, P. & Rathod, V. (2019). Valorization of food and agricultural waste: a step towards a greener future. *The Chemical Record*, 19(9), 1858-1871.
- Rodsamran, P. & Sothornvit, R. (2019). Lime peel pectin integrated with coconut water and lime peel extract as a new bioactive film sachet to retard soybean oil oxidation. *Food Hydrocolloids*, 97, 105173.
- Rosa, N. N., Barron, C., Gaiani, C., Dufour, C., & Micard, V. (2013). Ultra-fine grinding increases the antioxidant capacity of wheat bran. *Journal of Cereal Science*, 57(1), 84-90.
- Santos, A. M. P. & Yoshida, M. P. (2011). Técnico em Alimentos - Embalagem. Recife: UFRPE. Disponível em: <http://pronatec.ifpr.edu.br/wp-content/uploads/2013/06/Embalagem.pdf>.
- Schwark, F. (2009). Influence factors for scenario analysis for new environmental technologies: the case for biopolymer. *Technology Journal of Cleaner Production*, 17(7), 644-652.
- Sogut, E. & Seydim, A. C. (2018). The effects of Chitosan and grape seed extract-based edible films on the quality of vacuum packaged chicken breast fillets. *Food Packaging and Shelf Life*, 18, 13-20.

Souza, C. O., Silva, L. T., & Druzian, J. I. (2021). Comparative studies on the characterization of biodegradable cassava starch films containing mango and acerola pulps. *Química Nova*, 35(2), 262-267.

Udayakumar, G. P.; Muthusamy, S.; Selvaganesh, B.; Sivarajasekar, N.; Rambabu, K.; Sivamani, S.; Sivakumar, N.; Maran, J. P.; Hosseini-Bandegharaei, A. (2021). Ecofriendly biopolymers and composites: Preparation and their applications in water-treatment. *Biotechnology Advances*, 52, 107815.

Viana, R. M., Sá, N. M., Barros, M. O., de Fátima Borges, M., & Azeredo, H. M. (2018). Nanofibrillated bacterial cellulose and pectin edible films added with fruit purees. *Carbohydrate polymers*, 196, 27-32.

Vodnar, D. C., Pop, O. L., Dulf, F. V. & Socaciu, C. (2015). Antimicrobial efficiency of edible films in food industry. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 43(2), 302-312.

Zhang, H. & Sablani, S. (2021). Biodegradable packaging reinforced with plant-based food waste and by-products. *Current Opinion in Food Science*, 42, 61-68.

Zhang, X., Liu, Y., Yong, H., Qin, Y., Liu, J., & Liu, J. (2019). Development of multifunctional food packaging films based on chitosan, TiO<sub>2</sub> nanoparticles and anthocyanin-rich black plum peel extract. *Food Hydrocolloids*, 94, 80-92.

Zhao, Y. & Saldaña, M. D. A. (2019). Use of potato by-products and gallic acid for development of bioactive film packaging by subcritical water technology. *The Journal of Supercritical Fluids*, 143, 97-106.

Zhong, Y., Godwin, P., Jin, Y. & Xiao, H. (2020). Biodegradable polymers and green-based antimicrobial packaging materials: A mini-review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. 3(1), 27-35.