

## Filmes biodegradáveis e agentes de reforço vegetais: Um enfoque em estudos brasileiros sob a ótica da economia circular

Biodegradable films and vegetable reinforcement agents: A focus on Brazilian studies from the perspective of the circular economy

Películas biodegradables y agentes de refuerzo vegetales: Un enfoque en estudios brasileños desde la perspectiva de la economía circular

Recebido: 14/07/2021 | Revisado: 21/07/2021 | Aceito: 23/07/2021 | Publicado: 31/07/2021

### **Julia Rabelo Vaz Matheus**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1274-9302>  
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil  
Email: [juuh.rabelo@hotmail.com](mailto:juuh.rabelo@hotmail.com)

### **Juliana Martins Satoriva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8337-9268>  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil  
E-mail: [julianasatoriva97@gmail.com](mailto:julianasatoriva97@gmail.com)

### **Andreza Salles Barone**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3155-1839>  
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil  
E-mail: [andreza\\_salles3@hotmail.com](mailto:andreza_salles3@hotmail.com)

### **Cristiano José de Andrade**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0151-5172>  
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil  
E-mail: [eng.crisja@gmail.com](mailto:eng.crisja@gmail.com)

### **Ana Elizabeth Cavalcanti Fai**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8594-2667>  
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil  
E-mail: [bethfai@yahoo.com.br](mailto:bethfai@yahoo.com.br)

### **Resumo**

Antropoceno é a era geológica atual, na qual profundas mudanças ambientais no planeta estão ocorrendo por influência das atividades humanas. Dentre outros aspectos, alguns que corroboram para este cenário são o sistema de produção de alimentos, incluindo o impacto das perdas de alimentos e a geração de resíduos agroindustriais, bem como o consumo e o descarte de plásticos em larga escala, com especial atenção aos materiais com um ciclo de vida curto, a exemplo das embalagens de alimentos. Como consequência, percebe-se uma demanda crescente por embalagens de fontes renováveis e biodegradáveis e, que dessa forma, contribuam para agregar valor e minimizar a perda de alimentos, aumentando sua vida útil e seu valor funcional. Uma alternativa que vem sendo explorada para melhorar as propriedades mecânicas, térmicas e de barreira de filmes é o uso de nanopartículas que, devido a escala nanométrica, fornecem aos filmes características aprimoradas, como maior tensão na ruptura e módulo de elasticidade e menor permeabilidade ao vapor de água quando comparado com filmes biodegradáveis sem o nanoreforço. As nanopartículas podem também ser produzidas a partir de resíduos agroindustriais, como cascas de banana, mandioca, milho, bagaço de uva, semente de manga e resíduos de caju. Assim, esta revisão tem como objetivo discutir criticamente o atual estado da arte e as tendências futuras sobre valorização de vegetais e seus resíduos por meio do desenvolvimento de filmes e embalagens de alimentos mais sustentáveis, com maior enfoque em estudos produzidos por Universidades e outras instituições de pesquisa brasileiras usando matéria-prima nacional.

**Palavras-chave:** Resíduos agroindustriais; Biovalorização; Filmes biodegradáveis; Embalagem ativa; Economia circular; Sustentabilidade.

### **Abstract**

Anthropocene is the current geological age in which profound environmental changes on the planet occur under the influence of human activities. Among other aspects, some that corroborate this scenario are the food production system, including the impact of food losses and the generation of agro-industrial residues, as well as the consumption and disposal of plastics on a large scale, with particular attention to materials with a short life cycle, such as food packaging. As a result, there is a growing demand for packaging from renewable sources that are biodegradable and contribute to adding value and minimizing food loss, increasing its shelf life and functional value. An alternative that has been

explored to improve the mechanical, thermal, and barrier properties of films is the use of nanoparticles which, due to the nanometric scale, provide the films with improved characteristics, such as higher tensile strength and Young's modulus and lower vapor permeability of water when compared to biodegradable films without nanoreinforcement. Nanoparticles can also be produced from agro-industrial residues, such as banana, cassava, corn peels, grape pomace, mango seeds and, cashew residues. Thus, this review aims to contribute to knowledge about the valorization of vegetables and their residues through the development of more sustainable films and food packaging, with a greater focus on studies produced by Brazilian institutions using national raw materials.

**Keywords:** Agro-industrial waste; Biovalorization; Biodegradable films; Active packaging; Circular economy; Sustainability.

### Resumen

El antropoceno es la era geológica actual, en la que se están produciendo profundos cambios ambientales en el planeta bajo la influencia de las actividades humanas. Entre otros aspectos, algunos que corroboran este escenario son el sistema de producción de alimentos, incluyendo el impacto de las pérdidas de alimentos y la generación de residuos agroindustriales, así como el consumo y disposición de plásticos a gran escala, con especial atención a los materiales con un ciclo de vida corto, como el envasado de alimentos. Como resultado, existe una demanda creciente de envases de origen renovable que sean biodegradables y que contribuyan a agregar valor y minimizar la pérdida de alimentos, aumentando su vida útil y valor funcional. Una alternativa que se ha explorado para mejorar las propiedades mecánicas, térmicas y de barrera de las películas es el uso de nanopartículas que, debido a la escala nanométrica, proporcionan a las películas características mejoradas, como mayor resistencia a la tracción y módulo de elasticidad y menor permeabilidad al vapor de agua en comparación con películas biodegradables sin nanorefuerzo. También se pueden producir nanopartículas a partir de residuos agroindustriales, como cáscaras de plátano, mandioca, maíz, orujo de uva, semillas de mango y residuos de anacardo. Así, esta revisión tiene como objetivo contribuir al área de conocimiento sobre la valorización de vegetales y sus residuos a través del desarrollo de películas y empaques de alimentos más sostenibles, con mayor enfoque en estudios producidos por instituciones brasileñas utilizando materias primas nacionales.

**Palabras clave:** Residuos agroindustriales; Bioevaluación; Películas biodegradables; Envasado activo; Economía circular; Sustentabilidad.

## 1. Introdução

O consumo excessivo de recursos naturais e a produção material elevada, em especial de plásticos, são alguns dos maiores desafios contemporâneos. As atividades humanas estão provocando mudanças atmosféricas, geológicas, hidrológicas e biosféricas. Essa influência humana no planeta é o que caracteriza a era geológica atual, denominada de Antropoceno (Velenturf et al., 2021; Willett et al., 2019). Nesse sentido, algumas das atividades que apresentam elevado impacto ambiental negativo são a produção de alimentos (Fanzo et al., 2020; Willett et al., 2019) e o consumo em larga escala de plásticos de origem fóssil (Acquavia et al., 2021).

A cadeia de alimentos é responsável por cerca de 30% das emissões globais de gases de efeito estufa e 70% do consumo de água doce. Além disso, agricultura e pastagem ocupam cerca de 40% da superfície terrestre livre de gelo (Fanzo et al., 2020; Willett et al., 2019). A urgência em transformar o sistema alimentar é reforçada pelas projeções sobre a população mundial que apontam 10 bilhões de pessoas em 2050 (Willett, et al., 2019; Jurgilevich et al., 2016). Além disso, a expressiva perda global de alimentos e geração de resíduos agroindustriais ao longo da cadeia de abastecimento de alimentos também contribuem para impactos negativos no ambiente. Estima-se que o montante de alimentos perdidos represente cerca de 8% das emissões globais de gases de efeito estufa (FAO, 2015), além de ocupar 0,9 milhão de hectares de solo e consumir 306 km<sup>3</sup> de água (FAO, 2014). No entanto, apesar desses aspectos destacados, é importante reforçar a imprescindibilidade de um sistema de produção de alimentos robusto capaz de suprir a demanda alimentar mundial crescente, e de contribuir para a diversificação, preservação e distribuição de alimentos com o apoio da ciência e tecnologia de alimentos (Buckle, 2015).

Somado a esse cenário, outro contribuinte aos impactos ambientais negativos é o crescente consumo e descarte de plásticos de origem petroquímica (Acquavia et al., 2021). Em 2019, cerca de 370 milhões de toneladas de plásticos foram produzidas no mundo (Plasticseurope, 2020). Dentre todos os plásticos produzidos, cerca de 36% são destinados à elaboração de embalagens plásticas (UNEP, 2018). Considerando a tendência de produção de plástico ao longo dos anos, projeta-se que, em

2050, serão mais de 25 bilhões de toneladas de plásticos produzidos, cerca de 12 bilhões de toneladas de resíduos plásticos acumuladas em aterros ou ambientes naturais (Geyer et al., 2017), além de um aumento das emissões para 6,5 Gt CO<sub>2</sub>eq (Zheng, Suh, 2019).

Tendo por base essas estimativas, aumenta a preocupação direcionada em promover impactos positivos que colaborem para reconstituir o meio e melhorar a qualidade de vida de forma geral, forçando os diferentes atores sociais a repensar o modelo tradicional de “descarte” dos materiais gerados comumente relacionado à economia linear (Shogren et al., 2019). Em contraponto, um novo modelo econômico e de desenvolvimento sustentável ganha visibilidade: a economia circular. A Economia Circular é um conceito que repensa as práticas econômicas e objetiva manter produtos, componentes e materiais em circulação tirando proveito do máximo de valor e utilidade entre ciclos técnicos e biológicos, inspirada nos conceitos cíclicos da própria natureza. Em outras palavras: a economia circular propõe um sistema de ciclos de reaproveitamento, em que a maior eficácia desses produtos, componentes e materiais colaboram para tornar o consumo da sociedade mais sustentável, reduzindo, por conseguinte, a emissão de gases do efeito estufa e a geração de resíduos (Murray et al., 2017; Jurgilevich et al., 2016). A indústria de embalagens desempenha um papel crucial nessa mudança de paradigma uma vez que continua a depender majoritariamente de materiais ambientalmente pouco sustentáveis, como plásticos de origem fóssil de uso único e embalagens multicamadas, que representam cerca de 15-20% de resíduos sólidos em diferentes países (Tako et al., 2021; Hall, 2017; Tencati et al., 2016).

Em 2020, houve aumento de uso de plásticos descartáveis em decorrência das modificações nas atividades humanas durante a pandemia de COVID-19. Por exemplo, o aumento dos sistemas *delivery* (refeição), e preocupação dos consumidores quanto a higiene e segurança alimentar, propiciou uma demanda crescente do uso de embalagens plásticas descartáveis para alimentos com ciclo de vida curto, especialmente *single use*, resultando em maior geração de resíduos plásticos (Barone et al., 2021; Silva et al., 2021; Li Miroso & Bremer, 2020). Como consequência, evidenciou-se um retrocesso de agendas ambientais globais como o “Compromisso Global para a Nova Economia dos Plásticos”. Muitas das políticas destinadas a limitar produtos plásticos de uso único foram revertidas e o desenvolvimento de embalagens de fontes renováveis, biodegradáveis e compostáveis é urgente, como parte das ações para conter a poluição plástica (Barone et al., 2021; Ellen Macarthur Foundation, 2021).

Imbuída no contexto de embalagens que circulem de forma positiva nos nossos sistemas, - design circular do berço ao berço - as tendências de mercado apontam para o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis a partir de excedentes vegetais e resíduos agroindustriais, principalmente para o segmento de embalagens de alimentos (Matheus et al., 2021a; Meys et al., 2020; Luttenberger, 2019). De modo geral, diversos consumidores estão dispostos a escolher embalagens sustentáveis, mesmo apresentando maior preço de mercado que os plásticos convencionais (Shen et al., 2020). Um exemplo recente é o *Ifood* que lançou uma seção de embalagens sustentáveis direcionada aos restaurantes (*Ifood Regenera*) com parceria da *Já fui mandioca*, uma empresa brasileira de embalagens à base de amido de mandioca (FORBES, 2021).

Nessa circunstância, a crescente busca por polímeros ambientalmente amigáveis aliada à necessidade de aproveitar melhor os resíduos alimentares contribuem para o interesse no desenvolvimento de filmes biodegradáveis (Acquavia et al., 2021). A formação de filmes a partir de resíduos alimentares vegetais ocorre devido à presença de polímeros naturais nessas matrizes, tais como amido, gelatina/proteína e compostos lignocelulósicos (Acquavia et al., 2021; Brito, Ferreira & Fai, 2020), sendo o amido um dos biopolímeros mais representativos para o mercado de bioplásticos (Shen et al., 2020). Ademais, o uso desses resíduos ricos em componentes com atividade antimicrobiana e antioxidante, na formulação de filmes biodegradáveis, pode expandir a aplicabilidade para a produção de embalagem ativa de alimentos visto que essas embalagens ativas podem atuar como veículo para carrear compostos bioativos que possivelmente irão interagir com o alimento embalado, incrementando sua qualidade nutricional e prolongando sua vida de prateleira (Soofi et al., 2021; Bhardwaj, Alam & Talwar, 2019).

Outro aspecto que tem ganhado destaque na área de filmes biodegradáveis é o uso da nanotecnologia como uma estratégia para o desenvolvimento de materiais mais resistentes. As nanopartículas apresentam maior capacidade de reforçar

filmes quando comparadas com seus equivalentes em maior escala devido à sua maior proporção de aspecto. Essas características favorecem a aplicação das nanopartículas na área de embalagem de alimentos (Theivasanthi et al., 2018), em especial, nos biopolímeros, melhorando a resistência mecânica e térmica, a aparência, a transparência e as propriedades de barreira dos filmes (Soofi et al., 2021). Celulose é um dos biopolímeros mais estudados para elaboração de nanopartículas com aplicação na área de embalagem (Wróblewska-Krepsztul et al., 2018). Nanoceluloses podem ser obtidas a partir de diferentes resíduos agroindustriais, tais como bagaço de uva (Coelho et al., 2018), coroa de abacaxi (Faria et al., 2020) e casca de banana (Pelissari et al., 2014), e serem aplicadas para reforçar filmes, como filmes à base de amido reforçados com nanocristais de celulose do bagaço de uva (Coelho et al., 2020), nanofibras de celulose da casca de banana (Pelissari et al., 2017) e da coroa de abacaxi (Balakrishnan et al., 2017). Esses estudos reforçam a viabilidade de aproveitar os resíduos agroindustriais vegetais que seriam descartados para a produção de filmes com potencial característica de biodegradabilidade.

Por fim, ressalta-se a vocação agrícola brasileira de produção de vegetais com matrizes químicas diversificadas e a possibilidade de aproveitamento desses para obtenção de filmes biodegradáveis evitando perdas pós-colheita e o descarte de resíduos sob a perspectiva da economia circular. Assim, considerando esse contexto, o objetivo desta revisão é discutir criticamente o atual estado da arte e as tendências futuras sobre valorização de vegetais e seus resíduos através do desenvolvimento de filmes e embalagens para alimentos que sejam mais sustentáveis. Neste trabalho, buscou-se dar um enfoque aos estudos produzidos por Universidades e outras instituições de pesquisa brasileiras utilizando vegetais nativos ou cultivados em abundância no país.

## 2. Metodologia

Foi realizada uma revisão de natureza bibliográfica com abordagem qualitativa, realizada através da pesquisa de artigos científicos indexados nas bases de dados eletrônicos Pubmed, Web of Science, Scopus e Google Scholar. Os critérios de inclusão foram: artigos com disponibilidade na íntegra e que apresentam coesão com a temática do estudo em tela, com enfoque para aqueles que se relacionam à produção de filmes biodegradáveis e agentes de reforço a partir de vegetais e seus resíduos desenvolvidos em Universidade e outras instituições de pesquisa brasileiras nos últimos 5 anos.

## 3. Perda e Desperdício de Alimentos: Importância do Aproveitamento de Resíduos Vegetais

Atualmente, a perda de alimentos constitui-se um problema global (Laso et al., 2021; Corrado et al., 2017), promovendo elevada geração de resíduos alimentares, além de impactos ambientais, socioeconômicos e na saúde de populações (Arun et al., 2020; Teigiserova et al., 2019). Não há uma definição consensual em relação a este termo, mas uma das mais difundidas é a da FAO (2011) que considera como perda de alimentos a perda não intencional na quantidade ou qualidade de alimentos destinados ao consumo humano durante a colheita, manuseio, transporte e armazenamento (antes do consumo). Por outro lado, o desperdício de alimentos refere-se a alimentos seguros e nutritivos para consumo humano que são descartados ou não consumidos, principalmente nas etapas de varejo e consumo (UNEP, 2021; FAO, 2011).

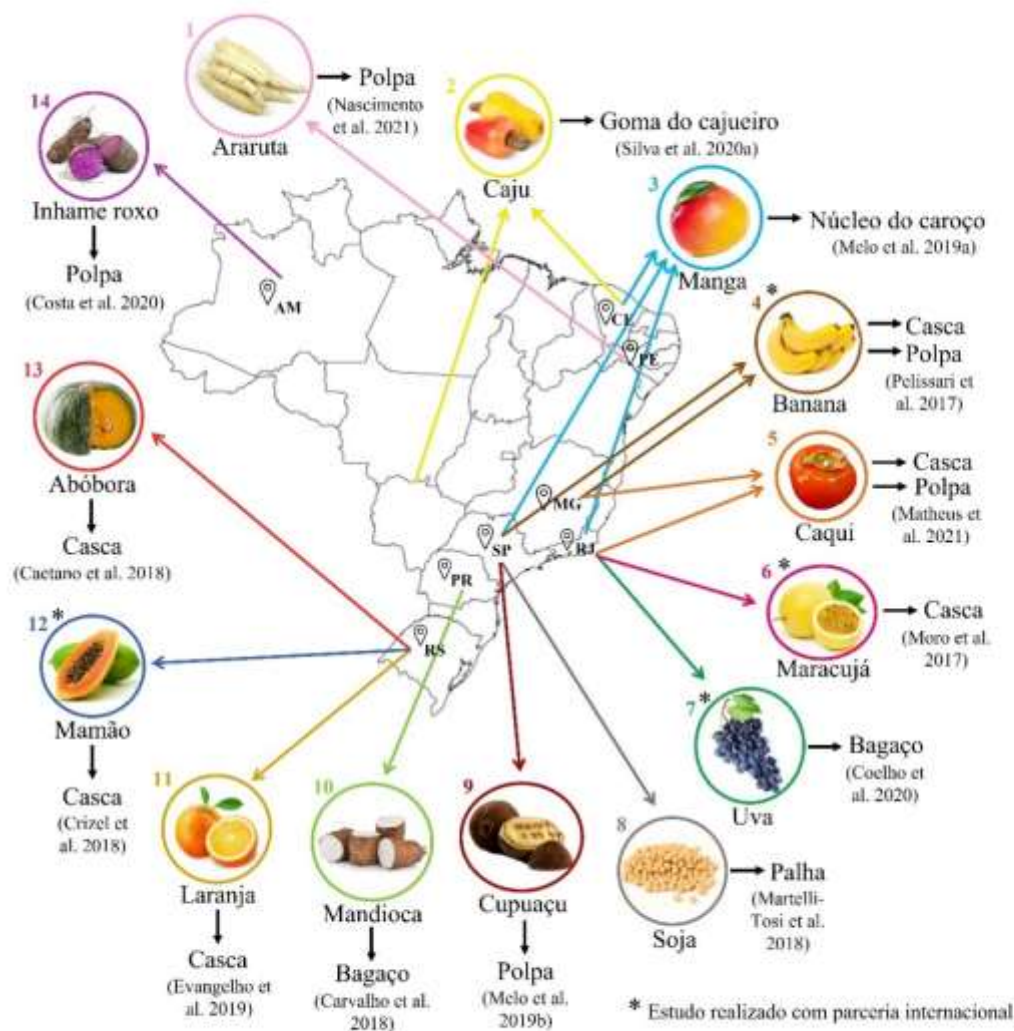
A perda alimentar mundial por ano é de cerca de 1,3 bilhão de toneladas, considerando toda a cadeia de abastecimento alimentar, o que representa quase um terço de todos os alimentos produzidos para consumo humano (Gustavsson, 2011). Um dos grupos alimentares que se destaca pelas perdas é o de tubérculos, frutas e hortaliças, uma vez que compreendem cerca de 40 a 50% das perdas (FAO, 2019). Dados recentes sobre desperdício alimentar estimam que, em 2019, foram gerados cerca de 931 milhões de toneladas de resíduos alimentares nos domicílios (61%), serviços de alimentação (26%) e varejo (13%) (UNEP, 2021). Especificamente no Brasil, o desperdício alimentar per capita e familiar gera anualmente cerca de 42 e 129 kg de resíduos, respectivamente (Porpino et al., 2018). Além disso, na indústria de alimentos há geração de cerca de 140 bilhões de toneladas de resíduos anualmente (Zuin & Ramin, 2018). Esses resíduos são, na maioria das vezes, subutilizados, embora apresentem uma

rica e heterogênea composição química (Jiménez-Moreno et al., 2020; Fidelis et al., 2019), apresentando significativos teores de proteínas, lipídios, amido, fibras alimentares, micronutrientes e bioativos (Brito, Ferreira & Fai, 2020; Faustino et al., 2019; Banerjee et al., 2017).

A necessidade de reduzir a perda de alimentos e a geração de resíduos alimentares é preconizada em algumas metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas, em especial a submeta 12.3 e 12.5 (ONU, 2015). No entanto, dificilmente esses resíduos serão totalmente erradicados, uma vez que são inerentes ao processamento de alimentos. Em vista disso, é fundamental desenvolver estratégias de aproveitamento desses resíduos por meio de práticas sustentáveis e tecnologias verdes, que estejam alinhadas com a economia circular e o desenvolvimento sustentável, propiciando benefícios socioeconômicos, ambientais e nutricionais (Souza et al., 2020a; Lemaire & Limbourg, 2019).

Atualmente, resíduos agroindustriais podem ser utilizados na produção de ração animal, biocombustível, compostos bioativos, enzimas, entre outros bioprodutos (Sharma et al., 2021; Velarde et al., 2020; Takeyama et al., 2020; Mendes et al., 2020) sendo, uma promissora alternativa o uso desses resíduos para desenvolvimento de filmes biodegradáveis (Luchese et al., 2021; Luchese et al., 2019) e filmes nanocompósitos (Coelho et al., 2020; Pelissari et al., 2017; Balakrishnan et al., 2017) com potencial aplicação como embalagem ativa (Crizel et al., 2018; Crizel et al., 2016). Nesse sentido, considerando a proeminente geração de resíduos alimentares no Brasil (Santos et al., 2020; Dal' Magro & Talamini, 2019), tais como resíduos de acerola, goiaba, abacaxi, caju, uva, laranja, mamão, maracujá, mandioca (Takeyama et al., 2020; Andrade et al., 2017; Silva et al., 2014; Souza et al., 2011), há potencialidade de valorização destes resíduos vegetais para o desenvolvimento de filmes, dado riqueza de componentes hábeis para formação de uma matriz polimérica (Souza et al., 2021; Acquavia et al., 2021; Otoni et al., 2017). A Figura 1 ilustra dados obtidos por instituições brasileiras sobre filmes à base de vegetais e seus resíduos.

**Figura 1.** Diferentes partes de vegetais e seus resíduos explorados para o desenvolvimento de filmes por Universidades e outras instituições de pesquisa brasileiras.



- 1 Universidade Federal de Pernambuco (PE)/ Centro de Pesquisa Agropecuária do Tópico Semiárido (PE)
- 2 Universidade Federal do Ceará (CE)/ Embrapa Agroindústria Tropical (CE)/ Embrapa Instrumentação (SP)
- 3 Universidade Federal do Ceará (CE)/ Embrapa Agroindústria Tropical (CE)/ Embrapa Agroindústria de Alimentos (RJ)/ Embrapa Instrumentação (SP)
- 4 Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (MG)/ Universidade de São Paulo (SP)/ Universidade Estadual de Campinas (SP)/ Universidad Nacional de Colombia (Colômbia)
- 5 Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (RJ)/ Universidade do Estado do Rio de Janeiro (RJ)/ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (MG)
- 6 Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (RJ)/ Embrapa Agroindústria de Alimentos (RJ)/ Universidad Zamorano (Honduras)
- 7 Universidade Federal do Rio de Janeiro (RJ)/ Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro (RJ)/ Embrapa Agroindústria de Alimentos (RJ)/ Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (RJ)/ Universidade do Minho (Portugal)
- 8 Universidade de São Paulo (SP)/ Embrapa Instrumentação (SP)
- 9 Universidade Estadual Paulista (SP)/ Universidade Estadual de Campinas (SP)
- 10 Universidade Federal do Paraná (PR)/ Universidade Estadual de Maringá (PR)
- 11 Universidade Federal de Pelotas (RS)/ Universidade de Passo Fundo (RS)
- 12 Universidade Federal do Rio Grande do Sul (RS)/ Universidade de Lisboa e Instituto Português do Mar e da Atmosfera (Portugal)
- 13 Universidade Federal do Rio Grande do Sul (RS)
- 14 Universidade Federal do Amazonas (AM)

\* Estudo realizado com parceria internacional

Setas com cores iguais correspondem ao mesmo estudo realizado em parceria entre diferentes instituições nacionais

Fonte: Autores.

#### **4. Biopolímeros Extraídos de Resíduos Agroindustriais: Matéria-Prima para Elaboração de Filmes**

Os principais biopolímeros extraídos de vegetais e seus resíduos para produção de bioplásticos e de filmes biodegradáveis, além de proteínas, são amido, compostos lignocelulósicos e pectina (Figura 2) (Ranganathan et al., 2020; Sharmila, 2020). O amido é um polissacarídeo formado basicamente por moléculas de amilose (cadeias longas e lineares) e amilopectina (curtas e ramificadas), que consistem em cadeias de D-glicose unidas por ligações glicosídicas  $\alpha$  (1-4) nas cadeias principais e ligações glicosídicas  $\alpha$  (1-6) nos pontos de ramificação. Os grânulos de amido são semicristalinos devido ao arranjo desses biopolímeros lineares e ramificados, onde os pontos de ramificação são distribuídos para formar lamelas amorfas e cristalinas. De modo geral, as características do grânulo de amido são dependentes das diferentes fontes genotípicas e apresentarão distintas propriedades físico-químicas e funcionais (Chisenga et al., 2019). Portanto, é imprescindível compreender as características e propriedades do amido para seu melhor aproveitamento.

Filmes à base de amido com elevado conteúdo de amilose tendem a formar estruturas mais quebradiças e com maior resistência devido à formação de uma rede mais rígida e compacta na matriz do filme (Fu et al., 2018), conferindo uma maior propriedade de barreira e tensão na ruptura (Silva et al., 2019). Por outro lado, a amilopectina atua aumentando a plasticidade dos filmes (Martins et al., 2020). A formação de filmes coesos de amido, pode requerer a aplicação de tratamentos no amido (como aquecimento e cisalhamento) para romper sua estrutura semicristalina. Ademais, o uso de plastificantes, como glicerol, pode ser necessário para formação de uma matriz contínua e melhora das propriedades mecânicas, uma vez que interferem na ligação de hidrogênio (Acquavia et al., 2020; Maraveas, 2020) e na interação macromolecular durante o rearranjo da amilopectina ou amilose (Fu et al., 2018). O amido de diferentes fontes vegetais e seus resíduos foram explorados para a elaboração de filmes, tais como amido de mandioca (Luchese et al., 2021; Huang et al., 2020), de arroz (Suriyatem et al., 2018), de quinoa (Pagno et al., 2015), de milho (Luchese et al., 2019), de araruta (Nascimento et al., 2021; Nogueira et al., 2019), de batata (Balakrishnan et al., 2017), de semente de jaca (Costa et al., 2021), semente de manga (Silva et al., 2019), de polpa de banana (Pelissari et al., 2017) e de polpa de maçã (Tirado-Gallegos et al., 2018).

Os compostos lignocelulósicos, que constituem as fibras naturais, apresentam uma composição dependente de sua fonte vegetal (Maraveas, 2020), sendo os principais componentes a celulose (35–50%), a hemicelulose (20–35%) e a lignina (10–25%) (Chong et al., 2020). A pectina, polissacarídeo amplamente presente nos resíduos agroindustriais, também é considerada uma matéria-prima relevante para a área de biopolímeros (Mellinas et al., 2020). A valorização de resíduos vegetais para o desenvolvimento de filmes pode ocorrer a partir da extração de compostos lignocelulósicos da polpa de amora (Wang et al., 2017), da palha de soja (Martelli-Tosi et al., 2017), da casca de batata (Shruthy & Preetha, 2019), dos resíduos do processamento de suco de cenoura (Sogut & Cakmak, 2020) e também a partir da extração de pectina das cascas de frutas, como melancia (Guo et al., 2021), limão (Rodsamran & Sothornvit, 2019a) e abacaxi (Rodsamran & Sothornvit, 2019b). Além disso, muitas vezes, vegetais e seus resíduos são integralmente incorporados em formulações de filmes, sem necessariamente extrair biopolímeros específicos. Brito et al. (2019) observaram a interação entre diferentes componentes (proteína, celulose, pectina e amido) que foram responsáveis pela formação da rede polimérica em filmes à base de farinha de resíduos de vegetais e frutas. O uso de purê de mamão (Rodríguez et al., 2020) e de caqui (Matheus et al., 2021b) em formulações de filmes favoreceram a formação da matriz polimérica em decorrência aos carboidratos totais presentes. Assim, os diferentes componentes contribuem de forma conjunta para a formação da matriz polimérica.

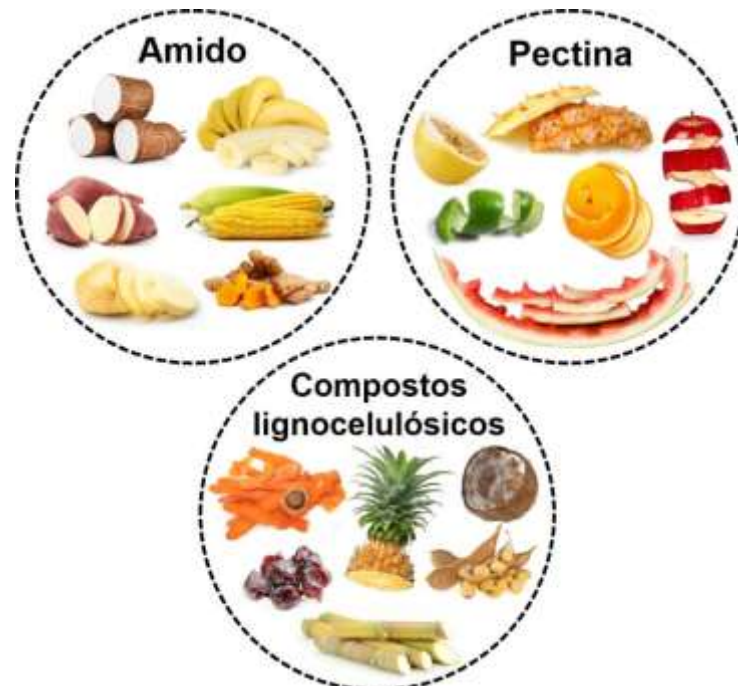
A forma de incorporação de resíduos agroindustriais nas formulações filmogênicas pode influenciar diretamente nas propriedades dos filmes desenvolvidos. Luchese et al. (2021) estudaram a influência da forma de incorporação de resíduos do processamento de laranja nas propriedades de filmes à base de amido. O filme adicionado de resíduos sob a forma de extrato aquoso apresentou maior solubilidade em água e menor rigidez do que o filme adicionado de resíduos de laranja em pó. Sugeriu-se que as fibras do resíduo em pó atuaram como agentes de reforço no filme de amido, aumentando sua rigidez e reduzindo sua

flexibilidade. Similarmente, Jirukkakul (2016) comparou as propriedades mecânicas e de barreira de filmes à base de banana sob a forma de farinha e de purê. O autor concluiu que o uso de farinha resultou em filmes com maior resistência, alongação e propriedade de barreira, provavelmente devido ao aumento das ligações de hidrogênio entre as cadeias de amido.

Ademais, as propriedades dos filmes podem ser afetadas de acordo com a técnica de produção. O método *casting*, além de ser mais compatível com a escala laboratorial, é o mais empregado em filmes à base de frutas e vegetais dado a termosensibilidade inerente desses componentes (Yepes et al., 2019; Otoni et al., 2017). Por outro lado, a extrusão possibilita a produção de bioplásticos em maior volume (Chen et al., 2020) e, ainda, pode afetar positivamente a estrutura de polímeros como o amido (Fitch-Vargas et al., 2016). Yepes et al. (2019) observaram que a extrusão seguida de termocompressão gerou filmes à base de amido e proteína de lentilha com maior tensão na ruptura e menor permeabilidade ao vapor de água do que os filmes desenvolvidos pela técnica de *casting*.

A Tabela 1 apresenta dados recentes produzidos em instituições brasileiras acerca do aproveitamento de vegetais e/ou resíduos agroindustriais para a produção de filmes.

**Figura 2.** Principais biopolímeros extraídos de resíduos agroindustriais vegetais para formulação de filmes biodegradáveis.



Fonte: Autores.



**Tabela 1.** Alguns estudos produzidos em Universidades e outras instituições de pesquisa brasileiras publicados nos últimos anos sobre valorização de vegetais e seus resíduos agroindustriais para o desenvolvimento de filmes com diferentes funcionalidades e aplicações.

Vegetal (nome científico)	Parte utilizada do vegetal	Pré-tratamento	Polímero de base e outros aditivos	Técnica de produção do filme	Análise de bioatividade	Aplicação como embalagem de alimento	Filiação dos autores	REF
Abóbora ( <i>Cucurbita maxima</i> e <i>Cucurbita moschata</i> )	Casca	Extrato	Amido de Mandioca e óleo essencial de orégano	<i>Casting</i>	Atividade antioxidante e antimicrobiana	A aplicação dos filmes ativos desenvolvidos como embalagem proporcionaram proteção contra oxidação lipídica de amostras de carne moída até o 3º dia de armazenamento refrigerado.	Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Caetano et al., 2018
Acerola ( <i>Malpighia puniceifolia</i> L.)	Polpa	Polpa	Amido de mandioca e glicerol	<i>Casting</i>	Atividade antioxidante	Azeite de dendê embalado em filmes adicionados das polpas de frutas apresentou menor oxidação lipídica durante os 40 dias de armazenamento em comparação com os controles. Observou-se um efeito diretamente proporcional entre a adição de polpa nas formulações e o efeito antioxidante dos filmes ativos.	Faculdade de Tecnologia SENAI, Universidade Tiradentes e Universidade Federal da Bahia	Dantas et al., 2015
Manga ( <i>Mangifera indica</i> L.)								
Seriguela ( <i>Spondias purpurea</i> )								
Amendoim ( <i>Arachis hypogaea</i> )	Casca	Extrato	Quitosana e glicerol	<i>Casting</i>	Atividade antioxidante e antimicrobiana	Os extratos favoreceram o desenvolvimento de filmes ativos com maior capacidade de proteção contra oxidação lipídica de amostras de frango comparado ao filme controle (sem extratos) durante 7 dias de refrigeração. Além disso, as contagens de psicotróficos foram significativamente menores para as amostras embaladas com os filmes ativos, sendo está propriedade associada somente à presença da quitosana.	Universidade de São Paulo, Universidade Federal de São Paulo, Universidade Federal de São Carlos e Universidad Central del Ecuador	Serrano-León et al., 2018
Pimenta rosa ( <i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi)	Caules, folhas e polpas rejeitadas							
Amora-preta ( <i>Morus Nigra</i> L.)	Polpa	Extrato	Carboximetilcelulose e glicerol	<i>Casting</i>	Atividade antioxidante	Tomates cerejas revestidos por imersão em solução filmogênica à base de extrato de amora-preta apresentaram resultados positivos quanto a perda de peso e firmeza dos frutos durante 15 dias de armazenamento. No entanto, atributos visuais e sensoriais dos tomates revestidos com solução filmogênica foram afetados negativamente.	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Universidade de Campinas e Centro Universitário Unifacvest	Sganzerla et al., 2021
Banana ( <i>Musa cavendishii</i> Lamb.)	Polpa	Purê	Pectina e glicerol	<i>Casting</i>	Não avaliada	Não avaliada	Embrapa Instrumentação	Martelli et al., 2021

Banana ( <i>Musa</i> spp.)	Casca	Farinha	Amido de milho e glicerol	<i>Casting</i>	Atividade antioxidante	Não avaliada	Universidade Federal de Minas Gerais	Silva et al., 2020b
Nêspera ( <i>Eriobotrya japonica</i> )	Folha	Extrato						
Banana ( <i>Musa</i> spp.)	Casca	Farinha	Amido de milho e glicerol	<i>Casting</i>	Não avaliada	Não avaliada	Universidade Federal de Minas Gerais	Arque Lau et al.,
Banana verde ( <i>Musa paradisiaca</i> )	Polpa (extração do amido)	Solução aquosa	Amido de banana verde, glicerol e micropartículas de lipídeos sólidos contendo ácido ascórbico	<i>Casting</i>	Atividade antioxidante	Não avaliada	Universidade de Campinas	Sartori & Mengelli, 2016
Batata doce roxa ( <i>Ipomoea Batatas</i> L.)	Casca (extração de antocianina)	Pó liofilizado	Quitosana, álcool polivinílico e extrato de antocianina	<i>Casting</i>	Não avaliada	Filmes usados como embalagem inteligente apresentaram mudanças colorimétricas visíveis frente à modificação do valor de pH da carne embalada por 3 dias. A incorporação de casca de jabuticaba nos filmes destacou-se como um indicador colorimétrico sensível ao pH para monitorar o frescor de carnes.	Universidade Federal de Santa Catarina	Capello et al., 2021
Jabuticaba ( <i>Plinia cauliflora</i> )								
Beterraba ( <i>Beta vulgaris</i> L.)	Resíduos (cascas, talos e aparas)	Pó	Resíduo de cápsula de gelatina de origem bovina	<i>Casting</i>	Atividade antioxidante	Filmes à base de resíduos foram mais eficientes quando comparados ao filme controle (sem resíduo de beterraba) na proteção de amostras de óleo de girassol contra o processo de oxidação primária ao longo de 35 dias de armazenamento.	Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Iahnke et al., 2015a
Café verde ( <i>Coffea arabica</i> L.)	Grão verde	Óleo	Carboximetilcelulose, glicerol e lecitina	<i>Casting</i>	Atividade antioxidante	Não avaliada	Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro e Embrapa agroindústria de alimentos	Vidal et al., 2019
	Resíduos do grão verde	Extrato						

Caqui ( <i>Diospyros kaki</i> L.)	Fruto inteiro	Purê	Glicerol e Pectina	<i>Casting</i>	Atividade antimicrobiana	O filme de caqui aplicado como tampa em embalagens contendo cenoura, beterraba e pepino minimamente processados apresentou resultados semelhantes aos vegetais embalados com filme de PVC nos parâmetros microbiológicos e colorimétricos. O filme de caqui retardou a perda de massa dos vegetais ao longo do período de 9 dias de refrigeração, mesmo que de forma menos eficaz em comparação ao PVC.	Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro e Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri	Matheus et al., 2021b
Cenoura ( <i>Daucus carota</i> L.)	Raspas e pedaços não uniformes	Pó	Hidroxipropilmetilcelulose e fibras de celulose	<i>Casting</i>	Não avaliada	Não avaliada	Embrapa instrumentação, Embrapa Agroindústria tropical, Universidade Federal de São Carlos e Universidade do Estado de São Paulo	Otoni et al., 2018
Cenoura ( <i>Daucus carota</i> )	Resíduos	Pó	Resíduo de cápsula de gelatina bovina	<i>Casting</i>	Atividade antioxidante	Filmes adicionados de resíduos apresentaram efeito protetor contra as reações primárias de rancidez em óleo de girassol durante armazenamento por 28 dias.	Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Lahnke et al., 2015b
Coco babaçu ( <i>Orbignya phalerata</i> Mart.)	Mesocarpo	Pó de mesocarpo	Pectina cítrica, cloreto de cálcio dihidratado e glicerol	<i>Casting</i>	Não avaliada	Não avaliada	Universidade Federal do Maranhão	Da Silva et al., 2019
Cupuaçu ( <i>Theobroma grandiflorum</i> )	Polpa	Purê	Pectina e nanopartículas de quitosana	<i>Casting</i>	Não avaliada	Não avaliada	Universidade Estadual Paulista e Universidade Estadual de Campinas	Melo et al., 2019
Cúrcuma ( <i>Curcuma longa</i> L.)	Resíduo	Pó	Glicerol	<i>Casting</i>	Atividade antioxidante	Não avaliada	Universidade de São Paulo	Miani et al., 2017
Cúrcuma ( <i>Curcuma longa</i> L.)	Resíduo (extração do amido)	Farinha	Amido de cúrcuma, gelatina e glicerol	<i>Casting</i>	Atividade antimicrobiana	O revestimento adicionado de cúrcuma retardou o crescimento microbiano em salsichas refrigeradas por 30 dias. Estimou-se que os revestimentos comestíveis desenvolvidos prolongaram $\pm$ 10 dias a vida útil das salsichas refrigeradas.	Universidade Federal de Santa Catarina e Universidade Estadual de Campinas	Tosati et al., 2017

Feijão ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ), alfafa ( <i>Medicago sativa</i> ), amaranto ( <i>Amaranthus</i> ), brócolis ( <i>Brassica oleracea</i> ), rabanete ( <i>Raphanus sativus</i> ) e trevo ( <i>Trifolium</i> )	Resíduos de brotos (sementes não germinadas, folhas e brotos avariados <i>in natura</i> )	Farinha	Amido de milho e glicerol	<i>Casting</i>	Não avaliada	Não avaliada	Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre	Silva et al., 2020c
Feijoa ( <i>Acca sellowiana</i> )	Casca (extração do amido)	Farinha	Amido de pinhão, pectina cítrica e glicerol	<i>Casting</i>	Atividade antioxidante e antimicrobiana	Filmes incorporados de casca de feijoa foram capazes manter a qualidade e o peso constante de maçãs ao longo de 15 dias de armazenamento.	Instituto Federal de Santa Catarina, Universidade do Planalto Catarinense e Universidade Federal de Santa Catarina	Sganzerla et al., 2020
Frutos de erva-mate ( <i>Ilex paraguariensis</i> A.)	Fruto inteiro	Extrato	Amido de milho e glicerol	<i>Casting</i>	Atividade antioxidante	Não avaliada	Universidade Federal do Paraná, Universidade Federal de Santa Catarina e University of Manitoba	Hornung et al., 2020
Jaboticaba ( <i>Myrciaria cauliflora</i> (Mart.) O. Berg)	Resíduo (bagaço)	Pó	Amido de milho e glicerol	<i>Casting</i>	Não avaliada	Não avaliada	Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Luchese et al., 2019
Mirtilo ( <i>Vaccinium corymbosum</i> L.)	Resíduo (bagaço)	Pó						
Jaboticaba ( <i>Myrciaria cauliflora</i> )	Casca	Farinha	Amido de milho e glicerol	<i>Casting</i>	Não avaliada	Não avaliada	Universidade Federal de Mato Grosso, Universidade Federal de Pelotas e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso	Sanchez et al., 2021
Jaboticaba ( <i>Myrciaria jaboticaba</i> )	Casca	Extrato liofilizado	Carragena	<i>Casting</i>	Atividade antioxidante e antimicrobiana	Não avaliada	Universidade Federal do Pampa, Universidade Federal de Santa Maria, e McGill University	Avila et al., 2020
Jaca ( <i>Artocarpus heterophyllus</i> )	Semente (extração do amido)							
Uvas negras sem semente ( <i>Midnight beauty</i> e <i>Sables seedless</i> )	Casca (extração de antocianina)	Extrato	Amido de semente de jaca, antocianinas da casca das uvas e glicerol	<i>Casting</i>	Não avaliada	Houve mudança na coloração dos filmes desenvolvidos ao serem utilizados como tampa para amostras de peixe e camarão. Concluiu-se a potencialidade de uso dos filmes inteligentes como indicadores do processo de deterioração do pescado.	Universidade Federal do Ceará e Embrapa Agroindústria Tropical	Costa et al., 2021

Laranja ( <i>Citrus sinensis</i> ), maracujá ( <i>Passiflora edulis</i> ), melancia ( <i>Citrullus lanatus</i> ), alface ( <i>Lactuca sativa</i> ), abobrinha ( <i>Cucurbita pepo</i> ), cenoura ( <i>Daucus carota</i> ), espinafre ( <i>Spinacea oleracea</i> ), hortelã ( <i>Mentha sp.</i> ), taro ( <i>Colocasia esculenta</i> ), pepino ( <i>Cucumis sativus</i> ) e rúcula ( <i>Eruca sativa</i> )	Vegetais inteiros, incluindo casca, polpa, talo, semente e caroço Farinha	Soluções de hidróxido de amônio e ácido metafosfórico (pH 7 e 9) e solução de hidróxido de amônio e ácido ortofosfórico (pH 9)	Soluções usadas como extratores	Casting	Não avaliada	De modo geral, amostras de cenoura minimamente processada revestidas por solução filmogênica desenvolvida apresentaram menor perda de massa ao longo de 12 dias em comparação com amostras controle. Além disso, o crescimento microbiano em cenouras revestidas foi similar ao do controle utilizando filme de PVC.	Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro	Fai et al., 2016
Maçã ( <i>Malus domestica</i> )	Bagaço (casca, sementes, caules e polpa)	Farinha	Amido de mandioca, poli(butileno adipato co-tereftalato) e glicerol	Extrusão	Atividade antioxidante e antimicrobiana	Não avaliada	Universidade Federal de Tecnologia do Paraná e Universidade Estadual de Londrina (Brasil), Instituto Politécnico de Castelo Branco, Universidade de Lisboa e Centro de Biotecnologia de Plantas da Beira Interior (Portugal) e University College Dublin (Irlanda)	Carpes et al., 2021
Malte ( <i>Hordeum vulgare</i> L.)	Bagaço	Farinha	Pectina e glicerol	Casting	Não avaliada	Não avaliada	Universidade Federal de Lavras e Embrapa Instrumentação	Men des et al., 2020
Mamão ( <i>Carica papaya</i> L.)	Polpa	Purê	Pectina, ácido cítrico e glicerol	Casting e secagem em forno de convecção e desidratador	Atividade antioxidante	Filmes ativos e comestíveis aumentaram a vida útil de pera minimamente processada. Observou-se que a incorporação de ácido ascórbico teve maior influência comparado ao extrato de moringa na minimização da alteração de cor das amostras ao longo de 9 dias.	Embrapa Instrumentação (Brasil) e Universidad del Atlantico (Colômbia)	Rodriguez et al., 2021
Moringa ( <i>Moringa oleifera</i> L.)	Folha	Pó						
Manga ( <i>Mangifera indica</i> L.)	Polpa	Polpa	Pectina	Casting	Não avaliada	Não avaliada	Universidade do Estado de São Paulo, Embrapa instrumentação, Universidade Federal do Paraná e Universidade Federal de São Carlos	Oldoni et al., 2021

Mangaba ( <i>Hancornia speciosa</i> Gomes)	Polpa	Resíduo	Quitosana, extrato etanólico e lignina alcalina	Casting	Atividade antioxidante	Não avaliada	Universidade Federal do Rio Grande do Norte	Jácome et al., 2020
Maracujá ( <i>Passiflora edulis</i> Sims f. <i>flavicarpa degener</i> )	Casca	Pó	Pectina e glicerol	Casting	Não avaliada	Não avaliada	Embrapa Instrumentação e Universidade Federal de São Carlos	Munhoz, et al., 2018
	Polpa	Polpa						
Mirtilo ( <i>Vaccinium corymbosum</i> L.)	Resíduo (bagaço)	Pó	Amido de mandioca e glicerol	Casting	Não avaliada	Os pigmentos presentes nos filmes desenvolvidos à base de resíduo de mirtilo foram capazes de migrar para amostras de frango ao longo de 10 dias de armazenamento refrigerado.	Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Luchese et al., 2018
Mirtilo ( <i>Vaccinium corymbosum</i> L.)	Resíduo (bagaço)	Pó	Amido de mandioca e sorbitol	Termocompressão	Não avaliada	Não avaliada	Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Andretti et al., 2019
Noz-pecã ( <i>Carya illinoensis</i> )	Casca	Farinha	Amido de mandioca	Termocompressão	Não avaliada	Não avaliada	Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Engel et al., 2020
Pinhão ( <i>Araucaria angustifolia</i> )	Casca							
Repolho roxo ( <i>Brassica oleraceae</i> L.)	Folhas (extração de antocianina)	Extrato	Acetato de celulose, glicerol e extrato de antocianina	Casting	Não avaliada	Não avaliada	Universidade Federal de Viçosa	Freitas et al., 2020
Tamarindo ( <i>Tamarindus indica</i> )	Semente (extração de xiloglucano)	Extrato	Xiloglucano e glicerol	Casting	Não avaliada	Amostras de mamão embaladas com filme à base de xiloglucano de resíduos de sementes de tamarindo apresentaram produção de etileno e dióxido de carbono estatisticamente similar as amostras embaladas com PVC. No entanto, o filme otimizado não foi capaz de retardar a perda de massa do mamão ao longo de 8 dias de armazenamento de forma tão eficaz quanto o PVC.	Instituto Federal do Ceará, Embrapa Agroindústria Tropical, Universidade Federal do Ceará, Universidade Estadual do Ceará	Santos et al., 2019

Fonte: Autores.

Atualmente, há grande interesse na valorização e aproveitamento de resíduos agroindustriais para a formulação de filmes, devido à relativa abundância, baixo custo, não toxicidade, biodegradabilidade e biocompatibilidade (Omran et al., 2021; Chang et al., 2021; Ranganathan et al., 2020). No entanto, ainda é um desafio produzir filmes à base de resíduos vegetais com propriedades mecânicas e de barreira mais competitivas que os plásticos convencionais. Por exemplo, Nogueira et al. (2019) observaram que maiores quantidades de polpa de amora adicionada em soluções filmogênicas à base de amido de araruta resultaram em filmes menos resistentes e mais permeáveis ao vapor de água. Esse resultado é comumente observado em outros estudos e frequentemente associado à presença de carboidratos simples e outros componentes hidrofílicos presentes nos resíduos (Silva et al., 2020b; Melo et al., 2019b; Jirukkakul, 2016). Nesse sentido, o uso de nanopartículas como agentes de reforço em filmes vem sendo explorado e apresenta grande potencial na área de biopolímeros (Acquavia et al., 2020; Ates et al., 2020; Souza et al., 2020b; Azeredo et al., 2017), contribuindo também para o aproveitamento dos resíduos agroindustriais, uma vez que nanopartículas obtidas de celulose, por exemplo, destacam-se por proporcionarem bom desempenho mecânico e de barreira aos filmes nanocompósitos (Omran et al., 2021; Pakutsah & Aht-Ong, 2020; Mishra et al., 2018).

## 5. Filmes Nanocompósitos à Base de Resíduos Agroindustriais

Compósitos são caracterizados por apresentar a combinação de dois ou mais materiais com estrutura química e geométrica distintas, onde um deles é o responsável pela formação da matriz (fase contínua) e o outro pelo reforço (fase dispersa). Quando se trata de um nanocompósito, o agente de reforço aplicado possui uma dimensão em escala nanométrica, isto é, entre 1 a 100 nm, o que fornece interessantes características ao material dada a alta relação superfície-volume dos nanocompósitos e a elevada interação entre a matriz e o reforço (Ates et al., 2020). O uso de fontes renováveis como base para a elaboração dos nanocompósitos é de grande importância e tem sido investigado em inúmeras áreas, como engenharia, biomedicina e materiais (Ates et al., 2020; Souza et al. 2020), sendo a celulose um dos polímeros de destaque para a área de filmes nanocompósitos aplicados como embalagem (Wróblewska-Krepsztul et al., 2018).

A produção de nanopartículas a partir de resíduos agroindustriais é crescente (Omran et al., 2021). Huang et al. (2020) produziram filmes à base de amido de mandioca reforçados com nanofibrilas de celulose modificadas (por tratamento com ácido málico e o agente de acoplamento de silano KH-550). As nanopartículas foram produzidas a partir de resíduos de mandioca (não especificado). Os filmes apresentaram característica hidrofóbica e boas propriedades mecânicas e de barreira (Huang et al., 2020).

Coelho et al. (2020) desenvolveram um filme à base de amido reforçado com nanocristais de celulose do bagaço de uva. À medida que maiores concentrações de nanopartículas compuseram as formulações, os filmes apresentaram maior resistência mecânica e menor maleabilidade. Em relação às propriedades de barreira, observou-se que as menores concentrações de nanocristais resultaram em menores valores de permeabilidade ao vapor de água comparado aos filmes controle e àqueles adicionados de maiores concentrações de nanocristais. Sugeriu-se que a concentração de nanopartículas inserida na formulação deve ser suficiente para se dispersar na matriz, sem gerar aglomeração, e assim, proporcionar um aumento da tortuosidade na estrutura dos filmes de modo que dificulte a permeação das moléculas de água (Coelho et al., 2020). Outro estudo evidenciou resultado semelhante em filmes à base de amido de batata reforçados com nanofibras de celulose de coroa de abacaxi. As nanofibras foram efetivas para reforçar os filmes, porém maiores concentrações estiveram associadas a redução da propriedade de barreira dado a presença de nanofibras aglomeradas (Balakrishnan et al., 2017).

Pelissari et al. (2017) desenvolveram nanocompósitos à base de amido de banana incorporados de nanofibras de celulose de casca de banana e avaliaram a influência destas na matriz polimérica, bem como o efeito do tratamento mecânico (homogeneizador de alta pressão) sobre as nanofibras. Conforme o tratamento mecânico das nanofibras foi intensificado, os nanocompósitos apresentaram maior tensão na ruptura, módulo de elasticidade, opacidade, cristalinidade e menor solubilidade

em água. No entanto, o tratamento mais drástico gerou danos nas fibras, o que impactou negativamente as propriedades gerais dos nanocompósitos (Pelissari et al., 2017).

A Tabela 2 resume os principais resultados observados em estudos recentes produzidos em Universidades e outras instituições de pesquisa brasileiras sobre o aproveitamento de resíduos agroindustriais para a produção de filmes nanocompósitos.

**Tabela 2.** Estudos recentes produzidos em Universidades e outras instituições de pesquisa brasileiras sobre valorização de resíduos agroindustriais vegetais para o desenvolvimento de filmes nanocompósitos.

Resíduo	Tipo de nanopartícula produzida	Método de pré-tratamento	Caracterização das nanopartículas	Composição do filme nanocompósito	Caracterização do filme nanocompósito	Principais propriedades do filme nanocompósito	Ref.
Bainhas externas e medianas de pupunha	Nanofibrilas de celulose (NFBC)	Desfibrilação mecânica	Não avaliada	Quitosana e NFBC	TR: 47,45 – 56,59 MPa ER: 1,67 – 5,43% ME: 1931,87 – 5384,05 MPa Transp.: 43,32 – 49,16%	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A adição das NFBC resultaram em filmes mais resistentes (filme nanocompósito com 1,5% de NFBC aumentou 1300% o módulo elástico e 280% tensão na ruptura). No entanto, menores valores de AR foram observados para os filmes nanocompósitos, indicando que a flexibilidade foi afetada negativamente pela incorporação das NFBC,</li> <li>- Esses resultados podem ser atribuídos devido à característica de elevada RA das nanopartículas que contribuem para a formação de uma forte interação NFBC-quitosana, que restringe a mobilidade da rede polimérica, tornando-a rígida e pouco flexível,</li> <li>- Ademais, a adição de NFBC reduziu a transmissão de luz dos filmes nanocompósitos, sugerindo que a forte interação NFBC-quitosana também elevou a cristalinidade dos filmes e, conseqüentemente, sua turbidez.</li> </ul>	Franco et al., 2020
Bainhas externas de pupunha	Nanofibrilas de celulose (NFBC)	Desfibrilação mecânica	Diâm.: 10 – 30 nm Morf.: fibras longas e emaranhadas	Amido de mandioca, glicerol e NFBC	Esp.: 0,121 – 0,123 mm TR: 6,417 – 13,704 MPa ER: 4,950 – 45,597% SA: 16,43 – 19,85% PVA: 1,14 – 1,27 (g m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> Pa <sup>-1</sup> ) × 10 <sup>-10</sup> Transp.: 35,01 – 42,93%	<ul style="list-style-type: none"> <li>- As NFBC foram capazes de reforçar os filmes à base de amido, aumentando a tensão na ruptura em até 306% em relação ao filme controle (sem NFBC),</li> <li>- Observou-se maior propriedade de barreira nos filmes nanocompósitos, com a redução da PVA,</li> <li>- Quanto maior a adição de NFBC maior opacidade os filmes nanocompósitos apresentaram,</li> <li>- Não houve variação relevante nos perfis térmicos dos filmes com ou sem NFBC.</li> </ul>	Martins et al., 2020
Bagaço de uva	Nanocristais de celulose (NCC)	Hidrólise ácida	Morf.: agulha	Amido de batata, glicerol e NCC	Esp.: 0,08 – 0,11 mm TR: 13,03 – 36,64 MPa ER: 3,66 – 10,29% ME: 20,96 MPa (maior valor alcançado) PVA: 4,25 – 6,63 g h <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> Pa <sup>-1</sup> Op.: 4,27 – 6,35%	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A incorporação de NCC nos filmes aumentaram a tensão na ruptura e o módulo de elasticidade, podendo ser explicado pela forte interação das ligações de hidrogênio entre o CNC e as moléculas de amido,</li> <li>- Enquanto a adição de pequenas concentrações de NCC diminuíram os valores de alongação na ruptura comparado ao controle, indicando que o CNC restringe a movimentação da matriz do amido,</li> <li>- A presença de NCC não alterou significativamente a solubilidade em água dos filmes quando comparado ao controle,</li> <li>- A PVA diminuiu com a adição de NCC comparado ao filme controle devido ao aumento da tortuosidade das moléculas de água na matriz polimérica,</li> <li>- A incorporação de concentrações acima de 5% de CNC nos filmes aumentou os valores de opacidade.</li> </ul>	Coelho et al., 2020



Casca de banana	Nanofibras de celulose (NFC)	Hidrólise ácida e enzimática	-	Amido de banana, glicerol e NFC	Esp.: 0,076 – 0,078 mm TR: 12,3 – 96,6 MPa ER: 30,6 – 50% SA: 20,9 – 29,4% PVA: 6,4 – 8,6 (g m s Pa) × 10 <sup>-11</sup> Op.: 64,37 – 70,53%	- As embalagens produzidas com NFC foram capazes de proteger o alimento embalado contra oxidação lipídica durante todo período de armazenamento, - A presença de NFC na matriz de amido manteve a textura inicial das castanhas de caju durante o armazenamento, - As NFC melhoraram a resistência à penetração da água do filme de amido devido ao aumento da tortuosidade da matriz.	Tibolla et al., 2020
Resíduos de caju	Nanocristais de celulose (NCC)	Hidrólise ácida	Diâm.: 17,5 nm Compr.: 276 nm Morf.: agulha PZ: -26,1 mV Rend.: 5,6%	Celulose bacteriana, lignina e NCC	TR: 48,49 – 71,95 MPa ER: 3,06 – 5,21 % ME: 1,74 – 2,37 GPa SA: 84,06 – 92,4 % PVA: 1,89 – 2,73 (g mm kPa <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	- A adição de NCC aumentou a tensão na ruptura e o módulo de elasticidade do filme nanocompósito, enquanto seu efeito na elongação na ruptura não foi significativo. Isto se deve pela forte adesão e pela formação de uma rede de percolação na interface NCC-matriz, - Os filmes apresentaram diminuição da permeabilidade ao vapor de água quando acrescentado o NCC, atribuído à sua insolubilidade na água e alta cristalinidade.	Sá et al., 2020
Semente de manga (amido extraído do núcleo)	Nanocristais de amido (NCA)	Hidrólise ácida	Tamanho de partícula: 67,1 nm Morf.: arredondada PZ: -24 mV Crist.: 62,6%	Amido de semente de manga, glicerol e NCA/ NCC	TR: 13,47 – 25,66 MPa (condição otimizada: 16,87 MPa) ER: 2,53 – 15,31% (condição otimizada: 10,35%) ME: 1181 – 1967 MPa (condição otimizada: 1299 MPa) PVA: 1,133 – 1,483 g mm m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> kPa <sup>-1</sup> (condição otimizada: 1,265 g mm h <sup>-1</sup> kPa <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	- NCC foi mais eficaz do que o NCA em melhorar as propriedades de tensão na ruptura e barreira ao vapor de água dos filmes, - NCA apresentou menor efeito sobre a redução da elongação na ruptura dos filmes do que NCC, - A adição de nanopartículas, sob condições otimizadas, resultou em um filme com maior resistência e propriedade de barreira ao vapor de água, porém menor elongação na ruptura em comparação com filme sem as nanopartículas.	Silva et al., 2019
Semente de manga (celulose extraída da casca)	Nanocristais de celulose (NCC)		Diâm.: 18 nm Compr.: 270 nm Morf.: agulha RA: 15 PZ: -54 mV Crist.: 80,3%				
Sabugo de milho (SM)	Nanocristais de celulose (NCC)	Hidrólise ácida	Compr.: 302 nm Larg.: 8,12 nm RA: 32,19 Morf.: agulha Rend.: 38,7%	Quitosana, glicerol e NCC provenientes de SM, CM, FT e CC	Esp.: 0,019 mm TR: 11,43 MPa ER: 195,2% Aa: 0,611 U: 18,32%	- A adição dos NCC diminuiu a espessura dos filmes comparado ao controle, mantendo as propriedades de barreira inalteradas, - Os filmes com NCC advindas de CC e SM apresentaram melhores valores de tensão na ruptura comparado ao controle, - A incorporação dos NCC aumentou a flexibilidade dos filmes, - A utilização de NCC de CM apresentou maior atividade de água comparado aos demais, - Os filmes com NCC de SM e CC apresentaram menor teor de umidade em comparação com os filmes com NCC de FT e CM.	Andrade et al., 2019
Casca de milho (CM)			Compr.: 298,3 nm Larg.: 7,30 nm RA: 40,86 Morf.: agulha Rend.: 25,4%		Esp.: 0,027 mm TR: 6,99 MPa ER: 155,2% Aa: 0,658 U: 20,24%		
Farelo de trigo (FT)			Compr.: - Larg.: - RA: - Morf.: agulha Rend.: 28%		Esp.: 0,027 mm TR: 4,03 MPa ER: 141,0% Aa: 0,601 U: 20,86%		
Casca de coco (CC)			Compr.: 254 nm Larg.: 6,32 nm RA: 40,18 Morf.: agulha Rend.: 12,5%		Esp.: 0,040 mm TR: 11,38 MPa ER: 274,2% Aa: 0,600 U: 15,13%		

Bagaço de mandioca	Nanofibras de lignocelulose (NFLC)	Hidrólise enzimática	Diâm.: 4,5 nm RA: > 85 PZ: -6,47 mV Crist.: 31,4%	Amido de mandioca, NFLC e glicerol	Esp.: 0,12 mm TR: 5,3 – 6,6 MPa ER: 44,4 – 48,7% Dens.: 1,36 – 1,47 g cm <sup>-3</sup> SA: 22,56 – 23,83% PVA: 0,032 – 0,047 g mm m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> kPa <sup>-1</sup> Op.: 0,77 – 1,28 A <sub>600</sub> mm <sup>-1</sup>	- A presença de NFLC diminuiu a solubilidade dos filmes comparado ao controle, - A NFLC reduziu a PVA dos filmes, que está associada a uma diminuição do coeficiente de difusão imposto pela presença das nanopartículas, - A adição de NFLC aumentou em 37,5% a tensão na ruptura dos filmes em comparação com a amostra controle, indicando boa interação molecular entre o amido de mandioca e a NFLC, - A incorporação da NFLC resultou em uma menor flexibilidade dos filmes.	Travaini et al., 2019
Palha de soja	Nanofibras de celulose (NFC)  Nanocristais de celulose (NCC)	Hidrólise química e enzimática	Compr.: não uniformes (aglomeração) Diâm.: 9,4 nm Rend.: 13,3% PZ: -24,5 mV  Compr.: 100 – 600 nm Diâm.: 9,4 nm Rend.: 12,4% PZ: -28,8 mV	Isolado de proteína de soja, glicerol, NFC e NCC	Esp.: 0,080 mm TR: 9 MPa ER: 8% ME: 575 MPa SA: 33% U: 17% PVA: 7 × 10 <sup>-10</sup> g m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> Pa <sup>-1</sup> Esp.: 0,082 mm TR: 8,4 MPa ER: 4,2% ME: 537 MPa SA: 20% U: 17% PVA: 14 × 10 <sup>-10</sup> g m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> Pa <sup>-1</sup>	- A incorporação de NFC e NCC aumentou a tensão na ruptura e o módulo de elasticidade dos filmes de isolado de proteína de soja, em comparação com o controle, - NFC e NCC diminuiram a elongação na ruptura do filme em 8% e 5%, respectivamente, - A incorporação de NCC diminuiu a solubilidade em água do filme de 26% para 20%, enquanto a adição de NFC aumenta a solubilidade em água de 26% para 33% em comparação com o controle, - A presença de NFC na matriz provocou a diminuição da permeabilidade ao vapor de água dos filmes, que está atribuído à menor razão de aspecto e a presença de açúcares redutores.	Martelli-Tosi et al., 2018
Palhas de soja	Nanofibras de celulose (NFC)	Moagem mecânica e hidrólise enzimática	Diâm.: 40 – 120 nm Compr.: não uniforme e variável	Purê de mamão, glicerol e NFC	Esp.: 0,071 – 0,086 mm TR: 6,42 – 7,30 MPa ER: 7,09 – 9,33% PVA: 1,38 – 3,50 g mm m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> kPa <sup>-1</sup>	- A NFC apresentou melhorias nas propriedades mecânicas e de barreira ao vapor de água, - A NFC teve maior influência no estresse (tensão na ruptura) do que na deformação, apesar da presença de grupos hidroxila e carboxila que aumentam a afinidade por água e moléculas polares adicionando um efeito plastificante na matriz, - A NFC foi mais eficaz na diminuição da permeabilidade ao vapor de água mesmo para filmes mais finos, provavelmente devido maior tortuosidade dos filmes induzido principalmente pela elevada razão de aspecto das fibras, - Não houve diferença relevante no comportamento térmico dos filmes adicionados ou não de NFC.	Barros-Alexandino et al., 2018

Legenda: Diâm. (diâmetro), Compr. (comprimento), Larg. (largura), RA (razão de aspecto), Morf. (morfologia), PZ (potencial zeta), Crist. (índice de cristalinidade), Rend. (rendimento), Esp. (espessura), Dens. (densidade), TR (tensão na ruptura), ER (elongação na ruptura), ME (módulo de elasticidade), PVA (permeabilidade ao vapor de água), SA (solubilidade em água), Aa (atividade de água), U (teor de umidade), Transp. (transparência), Op. (opacidade)  
Fonte: Autores..

Os materiais celulósicos têm se demonstrado ótimas fontes para produção de nanopartículas, pois além de abundantes na natureza, são ambientalmente amigáveis e não muito custosos (Mishra et al., 2018). A celulose é um homopolissacarídeo linear formado por moléculas de  $\beta$ -D-glicopirranose unidas por ligações glicosídicas  $\beta$ -(1-4). As microfibrilas são os principais componentes da celulose e são compostos por regiões cristalinas (ordenadas) alternadas com regiões amorfas (desordenadas) constituídas de hemicelulose, lignina e pectina (Balakrishnan et al. 2017; Coelho et al., 2020). Partículas de celulose com pelo menos uma dimensão em nanoescala são denominadas de nanoceluloses, que, por sua vez, podem ser classificadas em nanocristais de celulose (nanopartículas retas obtidas principalmente de regiões altamente cristalinas) ou em nanofibras de celulose (nanopartículas longas e flexíveis formada por agregações de fibrilas elementares compostas de partes cristalinas e amorfas) (Souza et al., 2020b; Mishra et al., 2018; Azeredo et al., 2016). Há diversos tratamentos mecânicos, químicos e biológicos para isolamento e produção de nanoceluloses a partir de materiais lignocelulósicos, como por exemplo moagem, extrusão, hidrólise enzimática, hidrólise química, carboxilação e sulfonação (Souza et al., 2020b). Comumente, a obtenção de nanocelulose a partir de resíduos agroindústrias é realizada via hidrólise ácida (Mishra et al., 2018). Em um estudo usando casca de mandioca, os autores observaram que o tratamento alcalino seguido de branqueamento foi adequado para a extração de celulose, e tanto o tratamento mecânico (homogeneização e ultrassom) quanto o químico (hidrólise com ácido sulfúrico) favoreceram a produção de nanoceluloses com propriedades químicas semelhantes. Observou-se que o tratamento químico gerou nanofibras com maior cristalinidade (63,3%) do que o tratamento mecânico (62,1%), indicando que o ácido sulfúrico foi capaz de degradar mais a região amorfa da celulose (Widiarto et al., 2019).

O uso de nanocelulose ao invés de fibras de celulose em filmes apresenta a vantagem de formação de poros mais complexos e menores nos filmes, devido à maior área de superfície, maior tensão na ruptura, rigidez e flexibilidade, boa propriedade térmica e alta razão de aspecto das nanopartículas, o que pode contribuir para uma densidade maior dentro do filme e menor permeabilidade (Souza et al., 2020b; Mishra et al., 2018; Pelissari et al., 2017). Wang et al. (2017) investigaram a influência da adição de fibras de celulose e de nanocristais de celulose isolados da polpa de amora em filmes à base de alginato de sódio. Observou-se que as fibras geraram filmes com maior espessura, menor resistência mecânica e flexibilidade e maiores valores de permeabilidade ao vapor de água comparado aos filmes controle e adicionado de nanopartículas. Em contrapartida, as nanopartículas tiveram efeito positivo nas propriedades mecânica e de barreira dos filmes. Esses resultados sugerem que as dimensões em nanoescala dos cristais de celulose obtidos foram capazes de prover maior reforço na matriz polimérica do que as fibras de celulose em escala milimétrica, provavelmente devido à forte interação entre as nanopartículas e o alginato (Wang et al., 2017).

Assim, as nanoceluloses isoladas de resíduos são promissores agentes de reforço em filmes, melhorando suas propriedades mecânicas e de barreira, sem necessariamente comprometer sua biodegradabilidade intrínseca. Além disso, essa estratégia contribui para a valorização de resíduos agroindustriais altamente produzidos e descartados. Por fim, outro aspecto a ser enfatizado, é a potencial bioatividade advinda desses resíduos que, ao serem incorporados em formulações de filmes, favorecem a aplicação como embalagem ativa para alimentos.

## **6. Filmes à Base de Resíduos Agroindustriais: uma Alternativa de Embalagem ativa e Biodegradável**

Tradicionalmente, os materiais usados para embalagem de alimentos devem conter, preservar e proteger os alimentos e ainda permitir a rotulagem e informação sobre produto/ marca (Sharmila et al., 2020). As embalagens constituem-se importantes barreiras físicas reduzindo risco de exposição do alimento ao ambiente circundante e, conseqüentemente, sua contaminação com corpos estranhos e/ou micro-organismos, o que contribui para prolongar a vida útil dos produtos alimentícios e reduzir perdas de alimentos (Chisenga et al., 2020). Atualmente, é notório o crescente interesse em pesquisa e desenvolvimento de embalagens ativas e inteligentes que, diferentemente das tradicionais, apresentam uma interação intencional e desejável com o alimento

embalado ou com o ambiente interno da embalagem de forma a aumentar a preservação e proteção do produto (embalagem ativa) ou ainda, monitorar as condições de qualidade do produto (embalagem inteligente) (Almasi et al. 2020). Assim, comumente, os resíduos agroindustriais vegetais, como cascas, sementes, talos e bagaços, constituem-se como fontes de compostos bioativos que podem ser incorporados na matriz polimérica de filmes para atuarem como agentes antimicrobianos, antioxidantes, aromáticos e/ou indicativos (de monitoramento de segurança e qualidade) (Bhargava et al., 2020).

Diversos estudos avaliaram o uso de resíduos agroindustriais para o desenvolvimento de filmes ativos e inteligentes. Rodsamran & Sothornvit (2019a) observaram que o extrato de resíduo de casca de limão foi capaz de propiciar elevada atividade antioxidante nos filmes à base de pectina (532,04 a 597,98  $\mu\text{M}$  Trolox/ g filme pela análise de ABTS, 38,70 a 51,98  $\mu\text{M}$  Trolox/ g filme pela análise de DPPH), atribuída principalmente pelo teor de fenólicos totais presentes (75,15 a 81,01 mg GAE/g filme). Além disso, filmes com adição de extrato do resíduo contribuíram para retardar a oxidação do óleo de soja durante 30 dias de armazenamento, sugerindo potencial uso como embalagem ativa. Soofi et al. (2021) também aproveitaram resíduos de limão em pó para incrementar a bioatividade em filmes nanocompósitos. A adição deste resíduo foi associada a uma importante propriedade antimicrobiana contra os cinco patógenos de origem alimentar testados, sendo que o óleo essencial de *Satureja khuzistanica* L. também adicionado nos filmes atuou de maneira sinérgica nesse efeito antimicrobiano.

Guo et al. (2021) desenvolveram filmes inteligentes à base de pectina de casca de melancia usando extrato de beterraba como indicador colorimétrico sensível ao pH. Além de melhorias nas propriedades térmicas e de barreira ao oxigênio, ao vapor de água e à luz e maior rigidez nos filmes incorporados de extrato de beterraba (em especial, no filme com 2% de extrato), observou-se também boa estabilidade de cor em condições naturais, bem como presença de resposta colorimétrica frente a uma ampla faixa de valores de pH, variando de 3 a 10. Ademais, o filme com adição de 2% de extrato de beterraba provou potencial aplicação como embalagem inteligente para monitoramento de qualidade de carne bovina resfriada, uma vez que houve mudança de coloração do dia 0 (cor rosa) ao dia 8 (cor marrom) de armazenamento resfriado associado a deterioração do alimento.

É importante ressaltar que apesar dos compostos bioativos em resíduos agroindustriais usualmente apresentarem bioatividade, nem sempre os filmes adicionados desses resíduos a manterão. Luchese et al. (2021) observaram que apesar da riqueza de compostos bioativos nos resíduos de laranja sob a forma de pó e extrato aquoso, somente o resíduo em pó apresentou um pequeno halo de inibição contra *Staphylococcus aureus*, porém não foi suficiente para conferir atividade antimicrobiana aos filmes desenvolvidos, provavelmente devido à baixa concentração de compostos antimicrobianos presentes no filme e/ou à sua não disponibilidade ou adequada difusão na matriz polimérica. Para além deste resultado, os autores evidenciaram migração de compostos dos filmes em soluções simuladoras de alimentos aquosos e gordurosos, no qual o filme contendo extrato aquoso dos resíduos de laranja apresentou migração mais acentuada em solução de ácido acético (simulador de alimento aquoso), reforçando potencial uso deste filme como embalagem ativa. Adicionalmente Luchese et al. (2021) avaliaram a capacidade de biodegradação destes filmes pelo método de *soil burial*. Desde a primeira semana em que as amostras de filmes com incorporação de resíduos estavam enterradas em solo sob condições laboratoriais, observou-se sinais qualitativos de desintegração, em especial nos filmes incorporados do extrato aquoso dos resíduos de laranja em comparação com aqueles incorporados de pó dos resíduos, devido à maior solubilidade em água desses filmes. Por outro lado, as amostras do filme controle (sem os resíduos de laranja), iniciaram um processo visível de desintegração somente a partir da terceira semana de teste, sugerindo, portanto, que o uso de resíduos agroindustriais não só pode ser benéfico para o desenvolvimento de filmes ativos, mas também são capazes de melhorar a biodegradabilidade do material. A incorporação de resíduos em filmes de amido pode conferir maior hidrofobicidade e componentes de baixa massa molar que são degradados mais rapidamente do que o amido (Luchese et al., 2021).

Otoni et al. (2018) investigaram a biodegradação aeróbia no solo de filmes de hidroxipropilmetilcelulose reforçados com celulose advinda de resíduos de processamento de cenoura, que apresentaram maior taxa de biodegradação ( $\pm 60$  mL de  $\text{CO}_2$  acumulado) durante 75 dias de análise em comparação com filme controle ( $\pm 20$  mL de  $\text{CO}_2$  acumulado). Neto et al. (2018)

desenvolveram um filme à base de amido termoplástico do fruto da pupunheira biodegradável, no qual observou-se, pelo método *soil burial*, elevada perda de massa total do filme (84,4%) ao longo de apenas 18 semanas. Bagde e Nadanathangam (2019) evidenciaram elevada taxa de biodegradação em 2 meses para todos os filmes ativos à base de amido de milho desenvolvidos, porém a adição de bacteriocinas e de nanocelulose cristalina nas formulações filmogênicas estiveram associadas, respectivamente, à redução ( $\pm 11,2\%$ ) e ao aumento ( $\pm 4,8\%$ ) da taxa de biodegradação quando comparado ao filme controle (somente amido). Apesar das bacteriocinas terem afetado os microorganismos no solo responsáveis pela degradação, os filmes ativos continuaram biodegradáveis. Assis et al. (2018) observaram que as nanocápsulas de beta-caroteno (extraído de cenouras) incorporadas em filmes ativos à base de amido de mandioca não comprometeram a biodegradabilidade do material, apresentando uma média de perda de massa total das amostras de filmes de 60% em 15 dias (método *soil burial*). Iahnke et al. (2015a) evidenciaram a biodegradabilidade de filmes à base de resíduos de beterraba e de cápsulas de gelatina, observando elevada perda de massa (mais de 75%) após 15 dias de análise pelo método *soil burial*. Sanches et al. (2021) observaram rápida capacidade de biodegradação em filmes de amido adicionados de resíduos agroindustriais de jabuticaba pelo método *soil burial*, cuja média de perda de peso foi de cerca de 38,6% em 15 dias. Os autores sugeriram que os componentes hidrofílicos dos filmes, ao absorverem água, favorecem o desenvolvimento de micro-organismos do solo que, por sua vez potencializam o uso dos biopolímeros presentes no filme como fonte energética. Assim, há certa instabilidade nas interações intermoleculares da matriz polimérica e desintegração dos filmes (Sanches et al., 2021). Esses estudos corroboram com a hipótese de que filmes à base de vegetais e seus resíduos apresentam grande potencial para aplicação como embalagem não só ativa, mas também biodegradável para alimentos, sendo, portanto, uma alternativa mais sustentável ao meio ambiente do que os plásticos convencionais.

## 7. Perspectivas e Considerações Finais sob a Ótica da Economia Circular

A necessidade de reduzir a geração de resíduos alimentares é evidente, uma vez que acarreta impactos ambientais, socioeconômicos e nutricionais, e é reforçada por algumas metas estabelecidas pelos ODS da ONU. A estratégia de aproveitamento destes resíduos para a produção de produtos de maior valor agregado, como filmes biodegradáveis, está inserida nos preceitos da economia circular. Além disso, valorizar resíduos agroindustriais gerados em grande volume no Brasil faz-se necessário já que pode colaborar para o manejo mais adequado dessas perdas de alimentos e propiciar ganhos socioeconômico ambientais. A viabilidade de valorização destes resíduos como filmes biodegradáveis decorre da ampla e heterogênea composição química, rica em biopolímeros, tais como amido, celulose e pectina. Ademais, a presença de compostos bioativos nos resíduos alimentares contribui para o desenvolvimento de filmes ativos, além de potencialmente biodegradáveis. A urgência em ampliar as alternativas de plásticos mais sustentáveis foi reforçada pelo uso intensificado de plásticos de origem fóssil na pandemia de COVID-19, em especial embalagens descartáveis para alimentos. No entanto, observa-se que os consumidores estão mais conscientes quanto às problemáticas do uso excessivo desses plásticos convencionais, contribuindo para impulsionar o crescimento do nicho mercadológico referente aos bioplásticos. Complementarmente, maiores investigações sobre filmes biodegradáveis à base de resíduos agroindustriais têm sido realizadas com enfoque no desenvolvimento de materiais que sejam mais competitivos com os plásticos tradicionais. Nesse sentido, com o intuito de reforçar esses materiais de embalagem, a nanotecnologia tem sido amplamente empregada, contribuindo para a melhoria das propriedades mecânicas, de barreira e térmicas de filmes nanocompósitos. No entanto, ressalta-se que maiores esforços devem ser realizados a fim de ampliar a escala de processo para viabilizar o desenvolvimento e a produção de filmes e nanocompósitos ativos e biodegradáveis industrialmente. Vale mencionar que a megadiversidade que marca o território do Brasil, aliado ao seu conhecimento tecnológico acumulado e a uma base industrial diversificada tornam o país um atrativo para novos modelos de negócios que priorizem o uso otimizado de recursos naturais e que tenham processos mais verdes, podendo assumir uma posição de liderança na economia circular enquanto nação. Em adição, regulamentações governamentais devem ser discutidas e implementadas para maiores avanços na área de

embalagens sustentáveis, inclusive reforçando a importância da rotulagem verde como instrumento fiscalizador e conscientizador.

## Referências

- Acquavia, M. A., Pascale, R., Martelli, G., Bondoni, M., & Bianco, G. (2021). Natural polymeric materials: a solution to plastic pollution from the agro-food sector. *Polymers*, *13*(158). <https://doi.org/10.3390/polym13010158>
- Almasi, H., Oskouie, M. J., & Saleh, A. (2020). A review on techniques used for design of controlled release food active packaging. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1783199>
- Andrade, C. J. A., Simiqueli, A. P. R., Lima, F. A., Silva, J. B., Andrade, L. M., & Fai, A. E. C. (2017). Cassava wastewater as substrate in biotechnological processes. *Handbook on cassava. Production, potential uses and recent advances* (pp. 171–199). Nova Science Publishers.
- Andrade, M. R., Nery, T. B. R., Santana, T. I. S., Leal, I. L., Rodrigues, L. A. P., Reis, J. H. O., Druzian, J. I., & Machado, B. A. S. (2019). Effect of cellulose nanocrystals from different lignocellulosic residues to chitosan/glycerol films. *Polymers*, *11*(4), 658. <https://doi.org/10.3390/polym11040658>
- Andretta, R., Luchese, C. L., Tessaro, I. C., & Spada, J. C. (2019). Development and characterization of pH-indicator films based on cassava starch and blueberry residue by thermocompression. *Food Hydrocolloids*, *93*, 317-324. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.02.019>
- Arquelaou, P. B. F., Silva, V. D. M., Garcia, M. A. V. T., Araújo, R. L. B., & Fante, C. A. (2019). Characterization of edible coatings based on ripe “Prata” banana peel flour. *Food Hydrocolloids*, *89*, 570-578. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.029>
- Arun, K. B., Madhavan, A., Sindhu, R., Binod, P., Pandey, A., & Sirohi, R. R. R. (2020). Remodeling agro-industrial and food wastes into value-added bioactives and biopolymers. *Industrial Crops and Products*, *154*, 112621. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112621>
- Assis, R. Q., Pagno, C. H., Costa, T. M. H., Flôres, S. H., Rios, A. O. (2018). Synthesis of biodegradable films based on cassava starch containing free and nanoencapsulated  $\beta$ -carotene. *Packaging Technology and Science*. <https://doi.org/10.1002/pts.2364>
- Ates, B., Koytepe, S., Ulu, A., Gurses, C., & Thakur, V. K. (2020). Chemistry, structures, and advanced applications of nanocomposites from biorenewable resources. *Chemical Reviews*. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.9b00553>
- Avila, L. B., Barreto, E. R. C., Souza, P. K., Silva, B. Z., Martiny, T. R., Moraes, C. C., Morais, M. M., Raghavan, V., & Rosa, G. S. (2020). Carrageenan-based films incorporated with jaboticaba peel extract: an innovative material for active food packaging. *Molecules*, *25*, 5563. <https://doi.org/10.3390/molecules25235563>
- Azeredo, H. M., Rosa, M. F., & Mattoso, L. H. C. (2017). Nanocellulose in bio-based food packaging applications. *Industrial Crops and Products*, *97*, 664-671. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.03.013>
- Azevedo, L. C., Rovani, S., Santos, J. J., Dias, D. B., Nascimento, S. S., Oliveira, F. F., Silva, L., & Fungaro, D. A. (2020). Biodegradable films derived from corn and potato starch and study effect of silicate extracted from sugarcane waste ash. *ACS Applied Polymer Materials*, *2*(6), 2160-2169. <https://doi.org/10.1021/acsapm.0c00124>
- Bagde, P., Vigneshwaran, N. (2019). Mechanical, antibacterial and biodegradable properties of starch film containing bacteriocin immobilized crystalline nanocellulose. *Carbohydrate Polymers*, *222*, 115021. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115021>
- Balakrishnan, P., Sreekala, M. S., Kunaver, M., Huskić, M., & Thomas, S. (2017). Morphology, transport characteristics and viscoelastic polymer chain confinement in nanocomposites based on thermoplastic potato starch and cellulose nanofibers from pineapple leaf. *Carbohydrate Polymers*, *169*, 176-188. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.04.017>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.093>
- Barone, A. S., Matheus, J. R. V., Souza, T. S. P., Moreira, R. F. A., & Fai, A. E. C. (2021). Green-based active packaging: opportunities beyond COVID-19, food applications and perspectives in circular economy - a brief review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *2021*, 1–25. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12812>
- Barros-Alexandrino, T. T., Tosi, M. M., & Assis, O. B. G. (2018). Comparison between chitosan nanoparticles and cellulose nanofibers as reinforcement fillers in papaya puree films: effects on mechanical, water vapor barrier, and thermal properties. *Polymer Engineering & Science*, *59*(S1), E287–E292. <https://doi.org/10.1002/pen.24938>
- Bhardwaj, A., Alam, T., & Talwar, N. (2019). Recent advances in active packaging of agri-food products: a review. *Journal of Postharvest Technology*, *7*(1), 33-62.
- Bhargava, N., Sharanagat, V. S., Mor, R. S., & Kumar, K. (2020). Active and intelligent biodegradable packaging films using food and food waste-derived bioactive compounds: a review. *Trends in Food Science and Technology*, *105*, 385–401. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.015>
- Brito, T. B. N., Ferreira, M. S. L., & Fai, A. E. C. (2020). Utilization of agricultural by-products: bioactive properties and technological applications. *Food Reviews International*. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1804930>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.03.058>

- Buckle K. (2015). Can food science reduce world hunger? *Food security and food safety for the twenty-first century*. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-287-417-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-287-417-7_1)
- Caetano, K. S., Lopes, N. A., Costa, T. M. H., Brandelli, A., Rodrigues, E., Flôres, S. H., & Cladera-Oliveira, F. (2018). Characterization of active biodegradable films based on cassava starch and natural compounds. *Food Packaging and Shelf Life*, 16, 138-147. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.03.006>
- Capello, C., Trevisol, T. C., Pelicioli, J., Terrazas, M. B., Monteiro, A. R., & Valencia, G. A. (2021). Preparation and characterization of colorimetric indicator films based on chitosan/polyvinyl alcohol and anthocyanins from agri-food wastes. *Journal of Polymers and the Environment*, 29, 1616–1629. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01978-3>
- Carpes, S. T., Bertotto, C., Bilck, A. P., Yamashita, F., Anjos, O., Siddique, M. A. B., Harrison, S. M., & Brunton, N. P. (2021). Bio-based films prepared with apple pomace: Volatiles compound composition and mechanical, antioxidant and antibacterial properties. *LWT – Food Science and Technology*, 144, 111241. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111241>
- Carvalho, G. R., Marques, G. S., Jorge, L. M. M., Jorge, R. M. M. (2018). Cassava bagasse as a reinforcement agent in the polymeric blend of biodegradable films. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(12), 47224. <https://doi.org/10.1002/app.47224>
- Chan, J. X., Wong, J. F., Hassan, A., & Zakaria, Z. (2021). Bioplastics from agricultural waste. *Biopolymers and Biocomposites from Agro-Waste for Packaging Applications*. Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering, (pp. 141-169). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819953-4.00005-7>
- Chen, J., Wang, X., Long, Z., Wang, S., Zhang, J., Wang, L. (2020). Preparation and performance of thermoplastic starch and microcrystalline cellulose for packaging composites: Extrusion and hot pressing. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 2295–2302. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.117>
- Chisenga, S. M., Tolesa, G. N., Workneh, T. S., & Owusu-Kwarteng, James. (2020). Biodegradable food packaging materials and prospects of the fourth industrial revolution for tomato fruit and product handling. *International Journal of Food Science*, 8879101. <https://doi.org/10.1155/2020/8879101>
- Chisenga, S. M., Workneh, T. S., Bultosa, G., & Alimi, B. A. (2019). Progress in research and applications of cassava flour and starch: a review. *Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03814-6>
- Chong, T. Y., Law, M. C., & Chan, Y. S. (2020). The potentials of corn waste lignocellulosic fibre as an improved reinforced bioplastic composites. *Journal of Polymers and the Environment*, 29, 363-381. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01888-4>
- Coelho, C. C. S., Michelin, M., Cerqueira, M. A., Gonçalves, C., Tonon, R. V., Pastrana, L. M., Freitas-Silva, O., Vicente, A. A., Cabral, L. M. C., & Teixeira, J. A. (2018). Cellulose nanocrystals from grape pomace: production, properties and cytotoxicity assessment. *Carbohydrate Polymers*, 192, 327-336. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.03.023>
- Coelho, C. C. S., Silva, R. B. S., Carvalho, C. W. P., et al. (2020). Cellulose nanocrystals from grape pomace and their use for the development of starch-based nanocomposite films. *International Journal of Biological Macromolecules*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.046>
- Corrado, S., Ardente, F., Sala, S., & Saouter, E. (2017). Modelling of food loss within life cycle assessment: From current practice towards a systematization. *Journal of Cleaner Production*, 140, 847–859. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.050>
- Costa, J. C. M., 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), e03718. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03718>
- Costa, L. A., Diógenes, I. C. N., Oliveira, M. A., Ribeiro, A. F., Furtado, R. F., Bastos, M. S. R., Silva, M. A. S., & Benevides, S. D. (2021). Smart film of jackfruit seed starch as a potential indicator of fish freshness. *Food Science and Technology*, 41(2). <https://doi.org/10.1590/fst.06420>
- Crizel, T. M., Haas Costa, T. M., De Oliveira, A. R., & 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.039>
- Crizel, T. M., Rios, A. D. O., Alves, V. D., Bandarra, N., Moldão-Martins, M., & Flôres, S. H. (2018). Biodegradable films based on gelatin and papaya peel microparticles with antioxidant properties. *Food and Bioprocess Technology*, 11, 536-550. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-2030-0>
- Da Silva, D. C., Lopes, I. A., Da Silva, L. J. S., Lima, M. F., Barros Filho, A. K. D., Villa-Vélez, H. A., & Santana, A. A. (2019). Physical properties of films based on pectin and babassu coconut mesocarp. *International Journal of Biological Macromolecules*, 130, 419-428. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.02.151>
- Dal' Magro, G. P., & Talamini, E. (2019). Estimating the magnitude of the food loss and waste generated in Brazil. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 37(7), 706-716. <https://doi.org/10.1177/0734242X19836710>
- Dantas, E. A., Costa, S. S., Cruz, L. S., Bramont, W. B., Costa, A. S., Padilha, F. F., Druzian, J. I., & Machado, B. A. S. (2015). Caracterização e avaliação das propriedades antioxidantes de filmes biodegradáveis incorporados com polpas de frutas tropicais [Characterization and evaluation of the antioxidant properties of biodegradable films incorporated with tropical fruit pulps]. *Ciência Rural*, 45(1), 142-148. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131458>
- Engel, J. B., Ginity, M. M., Luchese, C. L., Tessaro, I. C., & Spada, J. C. (2020). Reuse of diferent agroindustrial wastes: pinhão and pecan nutshells incorporated into biocomposites using thermocompression. *Journal of Polymers and the Environment*, 28, 1431-1440. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01696-w>
- Evangelho, J. A., Dannenberg, G. S., Biduski, B., Halal, S. L. M., Kringel, D. H., Gularte, M. A., Fiorentini, A. M., & Zavareze, E. R. (2019). Antibacterial activity, optical, mechanical, and barrier properties of corn starch films containing orange essential oil. *Carbohydrate Polymers*, 222, 114981. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.114981>
- Fai, A. E. C., Souza, M. R. A., Barros, S. T., Bruno, N. V., Ferreira, M. S. L., & Gonçalves, E. 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.09.021>

- Fanzo, J., Hood, A., & Davis, C. (2020). Eating our way through the Anthropocene. *Physiology & Behavior*, 222, 112929. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2020.112929>
- FAO. (2011). Global food losses and food wastes: extent, causes and prevention. Rome, <<http://www.fao.org/3/i2697e/i2697e.pdf>>.
- FAO. (2014). Mitigation of Food Wastage - Societal Costs and Benefits. Rome, FAO. <<http://www.fao.org/3/i3989e/i3989e.pdf>>.
- FAO. (2015). Food wastage footprint & Climate Change. Rome, FAO. <<http://www.fao.org/3/bb144e/bb144e.pdf>>.
- FAO. (2019). Key Facts on Food Loss and Waste You Should Know! <<http://www.fao.org/3/i2697e/i2697e.pdf>>.
- Faria, L. U. S., Pacheco, B. J. S., Oliveira, G. C., & Silva, J. L. S. (2020). Production of cellulose nanocrystals from pineapple crown fibers through alkaline pretreatment and acid hydrolysis under different conditions. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(6), 12346-12353. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.08.093>
- Faustino, M., Veiga, M., Sousa, P., Costa, E. M., Silva, S., & Pintado, M. (2019). Agro-food byproducts as a new source of natural food additives. *Molecules*, 24(6), 1056. <https://doi.org/10.3390/molecules24061056>
- Fidelis, M., De Moura, C., Kabbas, T., Pap, N., Mattila, P., Mäkinen, S., Putnik, P., Kovačević, D. B., Tian, Y., Yang, B. Y., & Granato, D. (2019). Fruit seeds as sources of bioactive compounds: sustainable production of high value-added ingredients from by-products within circular economy. *Molecules*, 24(21), 3854. <https://doi.org/10.3390/molecules24213854>
- Fitch-Vargas, P. R., Aguilar-Palazuelos, E., Zazueta-Morales, J. J., Vega-García, M. O., Valdez-Morales, J. E., Martínez-Bustos, F., Jacobo-Valenzuela, N. (2016). Physicochemical and microstructural characterization of corn starch edible films obtained by a combination of extrusion technology and casting technique. *Journal of Food Science*, 81(9), E2224 – E2232. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13416>
- Foundation, E. M. (2021). New Plastics Economy. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/our-work/activities/new-plastics-economy>>. Acesso em: 14 de julho de 2021
- FORBES. (2021). Quem diria, travestida de embalagem, a mandioca está cada vez mais em alta. Disponível em: <<https://forbes.com.br/forbesesg/2021/05/quem-diria-travestida-de-embalagem-a-mandioca-esta-cada-vez-mais-em-alta/>>. Acesso em: 13 de maio de 2021.
- Freitas, P. A. V., Silva, R. R. A., de Oliveira, T. V., Soares, R. R. A., Junior, N. S., Moraes, A. R. F., Pires, A. C. D. S., & Soares, N. F. F. (2020). Development and characterization of intelligent cellulose acetate-based films using red cabbage extract for visual detection of volatile bases. *LWT - Food Science and Technology*, 132, 109780. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109780>
- Fu, L., Zhu, J., Zhang, S., Li, X., Zhang, B., Pu, H., Li, L., Wang, Q. (2018). Hierarchical structure and thermal behavior of hydrophobic starch-based films with different amylose contents. *Carbohydrate Polymers*, 181, 528–535. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.12.010>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Guo, Z., Ge, X., Li, W., Yang, L., Han, L., Yu, Q.-L. (2021). Active-intelligent film based on pectin from watermelon peel containing beetroot extract to monitor the freshness of packaged chilled beef. *Food Hydrocolloids*, 119, 106751. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106751>
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Otterdijk, R. V., & Meybeck, A. (2011). Global food losses and food waste – extent, causes and prevention, food loss and food waste: causes and solutions. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. <https://doi.org/10.4337/9781788975391>
- Hall, D. (2017). The Guardian. Throwaway culture has spread packaging waste worldwide: here's what to do about it. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/environment/2017/mar/13/waste-plastic-food-packaging-recycling-throwaway-culture-dave-hall>>. Acesso em: 11 de julho de 2021.
- Hornung, P. S., Ávila, S., Apea-Bah, F. B., Liu, J., Teixeira, G. L., Ribani, R. H., & Beta, T. (2020). Sustainable use of *Ilex paraguariensis* waste in improving biodegradable corn starch films' mechanical, thermal and bioactive properties. *Journal of Polymers and the Environment*, 28, 1696-1709. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01723-w>
- Huang, L., Zhao, H., Yi, T., Qi, M., Xu, H., Mo, Q., Huang, C., Wang, S., & Liu, Y. (2020). Preparation and properties of cassava residue cellulose nanofibril/cassava starch composite films. *Nanomaterials*, 10(4), 755. <https://doi.org/10.3390/nano10040755>
- Iahnke, A. O. S., Costa, T. M. H., Rios, A. O., & Flôres, S. H. (2015b). Residues of minimally processed carrot and gelatin capsules: potential materials for packaging films. *Industrial Crops and Products*, 76, 1071-1078. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.08.025>
- Iahnke, A. O. S., Costa, T. M. H., Rios, A. O., & Flôres, S. H. (2015a). Antioxidant films based on gelatin capsules and minimally processed beet root (*Beta vulgaris* L. var. Conditiva) residues. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(10). <https://doi.org/10.1002/app.43094>
- Jácome, M. C. M. B., Padilha, C. E. A., Arrais, M. R. N., Leitão, A. L. O. S., Júnior, F. C. S., & Santos, E. S. (2020). Valorization of mangaba residue (*Hancornia speciosa* Gomes) for polygalacturonase production from *Aspergillus niger* IOC 4003 and fabrication of active chitosan films. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01102-4>
- Jiménez-Moreno, N., Esparza, I., Bimbela, F., Gandía, L. M., & Ancín-Azpilicueta, C. (2020). Valorization of selected fruit and vegetable wastes as bioactive compounds: Opportunities and challenges. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(20), 2061–2108. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1694819>
- Jirukkakul, N. (2016). The study of edible film production from unripened banana flour and ripened banana puree. *International Food Research Journal*, 23(1), 95-101.



- Jurgilevich, A., Birge, T., Kentala-Lehtonen, J., Korhonen-Kurki, K., Pietiäinen, J., Saikku, L., & Schösler, H. (2016). Transition towards circular economy in the food system. *Sustainability*, 8, 69. <https://doi.org/10.3390/su8010069>
- Lemaire, A., & Limbourg, S. (2019). How can food loss and waste management achieve sustainable development goals? *Journal of Cleaner Production*, 234, 1221–1234. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.226>
- Luchese, C. L., Abdalla, V. F., Spada, J. C., Tessaro, I. C. (2018). Evaluation of blueberry residue incorporated cassava starch film as pH indicator in different simulants and foodstuffs. *Food hydrocolloids*, 82, 209-218. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.010>
- Luchese, C. L., Pavoni, J. M. F., & Tessaro, I. C. (2021). Influence of the incorporation form of waste from the production of orange juice in the properties of cassava starch-based films. *Food Hydrocolloids*, 117, 106730. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.10F7G0>
- Luchese, C. L., Pavoni, J. M. F., Spada, J. C., & Tessaro, I. C. (2019). Influence of blueberry and jaboticaba agroindustrial residue particle size on color change of corn starch-based films submitted to different pH values solutions. *Journal of Renewable Materials*, 7(3), 235–243. <https://doi.org/10.32604/jrm.2019.00033>
- Luttenberger, L. R. (2019). Circular economy and food packaging/food nexus. In: International Conference MATRIB, Vela Luka.
- Maniglia, B. C., & Tapia-Blácido, D. R. (2019). Structural modification of fiber and starch in turmeric residue by chemical and mechanical treatment for production of biodegradable films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 126, 507-516. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.206>
- Maraveas, C. (2020). Production of sustainable and biodegradable polymers from agricultural waste. *Polymers*, 12(5), 1127. <https://doi.org/10.3390/polym12051127>
- Martelli, M. R., Barros, T. T., & Assis, O. B. G. (2014). Filmes de polpa de banana produzidos por batelada: propriedades mecânicas e coloração [Puree films from bananas processed in the batching mode: mechanical properties and coloring variations]. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 24(1), 137-142. <http://dx.doi.org/10.4322/polimeros.2014.062>
- Martelli-Tosi, M., Assis, O. B. G., Silva, N. C., Esposto, B. S., Martins, M. A., & Tapia-Blácido, D. R. (2017). Chemical treatment and characterization of soybean straw and soybean protein isolate/straw composite films. *Carbohydrate Polymers*, 157, 512-520. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.013>
- Martelli-Tosi, M., Masson, M. M., Silva, N. C., Esposto, B. S., Barros, T. T., Assis, O. B. G., & Tapia-Blácido, D. R. (2018). Soybean straw nanocellulose produced by enzymatic or acid treatment as a reinforcing filler in soy protein isolate films. *Carbohydrate Polymers*, 198, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.06.053>
- Martins, M. P., Dagostin, J. L. A., Franco, T. S., Muñiz, G. I. B., & Masson, M. L. (2020). Application of cellulose nanofibrils isolated from an agroindustrial residue of peach palm in cassava starch films. *Food Biophysics*, 15, 323–334. <https://doi.org/10.1007/s11483-020-09626-y>
- Matheus, J. R. V., Assis, R. M., Correia, T. R., Marques, M. R. C., Leite, M. C. A. M., Pelissari, F. M., Miyahira, R. F., & Fai, A. E. C. (2021b). Biodegradable and edible film based on persimmon (*Diospyros kaki* L.) used as a lid for minimally processed vegetables packaging. *Food and Bioprocess Technology*, 14, 765–779. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02595-1>
- Matheus, J. R. V., Miyahira, R. F., & Fai, A. E. C. (2021a). Biodegradable films based on fruit puree: a brief review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(12), 2090-2097. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1772715>
- Melo, P. E. F., Silva, A. P. M., Marques, F. P., Ribeiro, P. R. V., Filho, M. S. M. S., Brito, E. S., Lima, J. R., & Azeredo, H. M. C. (2019a). Antioxidant films from mango kernel components. *Food Hydrocolloids*, 95, 487–495. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.04.061>
- Melo, P. T. S., Nunes, J. C., Otoni, C. G., Aouada, F. A., & Moura, M. R. (2019b). Combining cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) puree, pectin, and chitosan nanoparticles into novel edible films for food packaging applications. *Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14685>
- Mellinas, C., Ramos, M., Jiménez, A., & Garrigós, M. C. (2020). Recent trends in the use of pectin from agro-waste residues as a natural-based biopolymer for food packaging applications. *Materials*, 13(3), 673. <https://doi.org/10.3390/ma13030673>
- Mendes, J. F., Norcino, L. B., Manrich, A., Pinheiro, A. C. M., Oliveira, J. E., & Mattoso, L. H. C. (2020). Development, physical-chemical properties, and photodegradation of pectin film reinforced with malt bagasse fibers by continuous casting. *Journal Applied Polymer Science*, 137(39), 49178. <https://doi.org/10.1002/app.49178>
- Mendes, N. S., Santos, M. C. P., Seljan, M. P., Silva, F. C., Coimbra, P. P. S., Souza, J. D. R. P., Fai, A. E. C., Kawaguti, H. Y., Moreira, S. G., Gonçalves, E. C. B. A. (2020). Characterization and utilization of fruit and vegetable residue flour for the development of functional foods. *Research, Society and Development*, 9(12), e43191211034. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i12.11034>
- Meys, R., Frick, F., Westhues, S., Sternberg, A., Klankermayer, J., & Bardow, A. (2020). Towards a circular economy for plastic packaging wastes – the environmental potential of chemical recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 162, 105010. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105010>
- Moro, T. M. A., Ascheri, J. L. R., Ortiz, J. A. R., Carvalho, C. W. P., & Meléndez-Arévalo, A. (2017). Bioplastics of native starches reinforced with passion fruit peel. *Food and Bioprocess Technology*. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1944-x>
- Munhoz, D. R., Moreira, F. K., Bresolin, J. D., Bernardo, M. P., Sousa, C. P., & Mattoso, L. H. (2018). Sustainable production and *in vitro* biodegradability of edible films from yellow passion fruit co-products via continuous casting. *ACS Applied Polymer Materials*, 6(8), 9883-9892. <http://dx.doi.org/10.1021/acsschemeng.8b01101>
- Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369–380. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>
- Nascimento, J. A. A., Santos, A. F., Silva, I. D. L., Falcão, E. H. L., Britto, D., & Vinhas, G. M. (2021). Physico-chemical, mechanical and morphological properties of biodegradable films based on arrowroot starch and poly(vinyl alcohol). *Journal of Macromolecular Science, Part B-Physics*, 6. <https://doi.org/10.1080/00222348.2021.1949836>

- Neto, B. A. M., Junior, C. C. M. F., Silva, E. G. P., Franco, M., Santos Reis, N., Ferreira Bonomo, R. C., Almeida, P. F., & Pontes, K. V. (2018). Biodegradable thermoplastic starch of peach palm (*Bactris gasipaes kunth*) fruit: production and characterization. *International Journal of Food Properties*. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1372472>
- Nogueira, J. F., Soares, C. T., Cavasini, R., Fakhouri, F. M., P de Oliveira, R. A. (2019). Bioactive films of arrowroot starch and blackberry pulp: Physical, mechanical and barrier properties and stability to pH and sterilization. *Food Chemistry*, 275, 417-425. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.054>
- Oldoni, F. C. A., Bernardo, M. P., Filho, J. G. O., Aguiar, A. C., Moreira, F. K. V., Mattoso, L. H. C., Colnago, L. A., & Ferreira, M. D. (2021). Valorization of mangoes with internal breakdown through the production of edible films by continuous solution casting. *LWT – Food Science and Technology*, 145, 111339. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111339>
- Oliveira, D. A., Angonese, M., Ferreira, S. R. S., & Gomes, C. L. (2017). Nanoencapsulation of passion fruit by-products extracts for enhanced antimicrobial activity. *Food and Bioprocess Processing*, 104, 137-146. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.05.009>
- Omran, A. A. B., Mohammed, A. A. B. A., Sapuan, S. M., Ilyas, R. A., Asyraf, M. R. M., Rahimian Kolor, S. S., & Petru, M. (2021). Micro- and nanocellulose in polymer composite materials: a review. *Polymers*, 13. <https://doi.org/10.3390/polym13020231>
- ONU. (2015). Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development United Nations, p. 1–35. <<https://sdgs.un.org/2030agenda>>.
- Otoni, C. G., Avena-Bustillos, R. J., Azeredo, H. M. C., Lorevice, M. V., Moura, M. R., Mattoso, L. H. C., & 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, 1151-1169. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12281>
- Otoni, C.G., Lodi, B. D., Lorevice, M. V., Leitão, R. C., Ferreira, M. D., Moura, M. R., & Mattoso, L. H.C. (2018). Optimized and scaled-up production of cellulose-reinforced biodegradable composite films made up of carrot processing waste. *Industrial Crops and Products*, 121, 66–72. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.003>
- Pagno, C. H., Costa, T. M. H., Menezes, E. W., Benvenuti, E. V., Hertz, P. F., Matte, C. R., Tosati, J. V., Monteiro, A. R., Rios, A. O., & Flôres, S. H. (2015). Development of active biofilms of quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) starch containing gold nanoparticles and evaluation of antimicrobial activity. *Food Chemistry*, 173, 755-762. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.068>
- Pakutsah, K., & Aht-Ong, D. (2020). Facile isolation of cellulose nanofibers from water hyacinth using water-based mechanical defibrillation: Insights into morphological, physical, and rheological properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 145, 64-76. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.172>
- Pelissari, F. M., Andrade-Mahecha, M. M., Sobral, P. J. D. A., & Menegalli, F. C. (2017). Nanocomposites based on banana starch reinforced with cellulose nanofibers isolated from banana peels. *Journal of Colloid and Interface Science*, 505, 154-167. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.05.106>
- Pelissari, F. M., Sobral, P. J. D. A., & Menegalli, F. C. (2014). Isolation and characterization of cellulose nanofibers from banana peels. *Cellulose*, 21, 417-32. PLASTICSEUROPE. (2020). Plastics – the Facts 2020. An analysis of European latest plastics production, demand and waste data. Disponível em: <[https://www.plasticseurope.org/application/files/8016/1125/2189/AF\\_Plastics\\_the\\_facts-WEB-2020-ING\\_FINAL.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/8016/1125/2189/AF_Plastics_the_facts-WEB-2020-ING_FINAL.pdf)>. Acesso em: 09 de maio de 2021.
- Porpino, G., Lourenço, C. E., Araújo, C.M., & Bastos, A. (2018). Intercâmbio Brasil – União Europeia sobre desperdício de alimentos. Relatório final de pesquisa. Brasília: Diálogos Setoriais União Europeia – Brasil. <[http:// www.sectordialogues.org/publicacao](http://www.sectordialogues.org/publicacao)>
- Ranganathan, S., Dutta, S., Moses, J. A., & Anandharamkrishnan, C. (2020). Utilization of food waste streams for the production of biopolymers. *Heliyon*, 6(9), e04891. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04891>
- Rodríguez, G. M., Sibaja, J. C., Espitia, P. J. P., Otoni, C. G. (2020). Antioxidant active packaging based on papaya edible films incorporated with *Moringa oleifera* and ascorbic acid for food preservation. *Food Hydrocolloids*, 103, 105630. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105630>
- Rodsamran, P, & Sothornvit, R. (2019a). 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105173>
- Rodsamran, P, & Sothornvit, R. (2019b). Preparation and characterization of pectin fraction from pineapple peel as a natural plasticizer and material for biopolymer film. *Food and Bioprocess Processing*, 118, 198-206. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.09.010>
- Sá, N. M. S. M., Mattos, A. L. A., Silva, L. M. A., Brito, E. S., Rosa, M. F., & Azeredo, H. M. C. (2020). From cashew byproducts to biodegradable active materials: bacterial cellulose-lignin-cellulose nanocrystal nanocomposite films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 161, 1337–1345. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.269>
- Sanches, M. A. R., Camelo-Silva, C., Tussolini, L., Tussolini, M., Zambiazzi, R. C., & Pertuzatti, P. B. (2021). Development, characterization and optimization of biopolymers films based on starch and flour from jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) peel. *Food Chemistry*, 343, 128430. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128430>
- Santos, K. L., Panizzon, J., Cenci, M. M., Grabowski, G., & Jahno, V. D. (2020). Food losses and waste: reflections on the current brazilian scenario. *Brazilian Journal of Food Technology*, 23, e2019134. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.13419>
- Santos, N. L., Braga, R. C., Bastos, M. S. R., Cunha, P. L. R., Mendes, F. R. S., Galvão, A. M. M. T., Bezerra, G. S., & Passos, A. A. C. (2019). Preparation and characterization of Xyloglucan films extracted from *Tamarindus indica* seeds for packaging cut-up ‘Sunrise Solo’ papaya. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 1163-1175. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.044>
- Sartori, T., & Menegalli, F. C. (2016). Development and characterization of unripe banana starch films incorporated with solid lipid microparticles containing ascorbic acid. *Food Hydrocolloids*, 55, 210-219. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.11.018>

- Serrano-León, J. S., Bergamaschi, K. B., Yoshida, C. M. P., Saldaña, E., Selani, M. M., Rios-Mera, J. D., Alencar, S. M., & Contreras-Castillo, C. J. (2018). Chitosan active films containing agro-industrial residue extracts for shelf life extension of chicken restructured product. *Food Research International*, 108, 93-100. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.031>
- Sganzerla, W. G., Ribeiro, C. P. P., Uliana, N. R., Rodrigues, M. B. C., Rosa, C. G., Ferrareze, J. P., Veeck, A. P. L., & Nunes, M. R. (2021). Bioactive and pH-sensitive films based on carboxymethyl cellulose and blackberry (*Morus nigra* L.) anthocyanin-rich extract: A perspective coating material to improve the shelf life of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L. var. cerasiforme). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 33, 101989. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.101989>
- Sganzerla, W. G., Rosa, G. B., Ferreira, A. L. A., Rosa, C. G., Beling, P. C., Xavier, L. O., Hansen, C. M., Ferrareze, J. P., Nunes, M. R., Barreto, P. L. M., & Veeck, A. P. L. (2020). Bioactive food packaging based on starch, citric pectin and functionalized with *Acca sellowiana* waste by-product: characterization and application in the postharvest conservation of apple. *International Journal of Biological Macromolecules*, 147, 295-303. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.074>
- Sharmila, G., Muthukumar, C., Manoj Kumar, N., Sivakumar, V. M., & Thirumarimurugan, M. (2020). Current Developments in Biotechnology and Bioengineering. *Food waste valorization for biopolymer production*, 233-249. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64321-6.00012-4>
- Shen, M., Song, B., Zeng, Guangming, Z., Yaxin, H, W, Wen, X, & Tang, W. (2020). Are biodegradable plastics a promising solution to solve the global plastic pollution? *Environmental Pollution*, 263, 114469. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114469>
- Shogren, R., Wood, D., Orts, W., & Glenn, G. (2019). Plant-based materials and transitioning to a circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, 19, 194–215. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.04.007>
- Silva, A. L. P., Prata, J. C., Walker, T. R., Duarte, A. C., Ouyang, W., Barceló, D., & Rocha-Santos, T. (2021). Increased plastic pollution due to COVID-19 pandemic: challenges and recommendations. *Chemical Engineering Journal*, 405, 126683. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126683>
- Silva, A. P. M., Oliveira, A. V., Pontes, S. M. A., Pereira, A. L. S., Filho, M. S. M. S., Rosa, M. F., Azeredo, H. M. C. (2019). Mango kernel starch films as affected by starch nanocrystals and cellulose nanocrystals. *Carbohydrate Polymers*, 211, 209-216. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.02.013>
- Silva, L. M. R. D., Figueiredo, E. A. T. D., Ricardo, N. M. P. S., Vieira, I. G. P., Figueiredo, R. W. D., Brasil, I. M., & Gomes, C. L. (2014). Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, 143, 398-404. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.001>
- Silva, M. L. T., Brinques, G. B., & Gurak, P. D. (2020c). Development and characterization of corn starch bioplastics containing dry sprout by-product flour. *Brazilian Journal of Food Technology*, 23, e2018326. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.32618>
- Silva, S. M. F., Ribeiro, H. L., Mattos, A. L. A., Borges, M. F., Rosa, M. F., & Azeredo, H. M. C. (2020a). Films from cashew byproducts: cashew gum and bacterial cellulose from cashew apple juice. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 1979–1986. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04709-7>
- Silva, V. D. M., Macedo, M. C. C., Rodrigues, C. G., Santos, A. N., Loyola, A. C. F., & Fante, C. A. (2020b). Biodegradable edible films of ripe banana peel and starch enriched with extract of *Eriobotrya japonica* leaves. *Food Bioscience*, 38, 100750. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100750>
- Sogut, E., & Cakmak, H. (2020). Utilization of carrot (*Daucus carota* L.) fiber as a filler for chitosan-based films. *Food Hydrocolloids*, 106, 105861. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105861>
- Soofi, M., Alizadeh, A., Hamishehkar, H., Almasi, H., & Roufegarinejad, L. (2021). Preparation of nanobiocomposite film based on lemon waste containing cellulose nanofiber and savory essential oil: A new biodegradable active packaging system. *International Journal of Biological Macromolecules*, 169, 352-361. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.114>
- Sousa, M. S. B., Vieira, L. M., Silva, M. J. M., & Lima, A. (2011). Caracterização nutricional e compostos antioxidantes em resíduos de polpas de frutas tropicais. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(3), 554-559. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000300017>
- Souza, E., Gottschalk, L., & Freitas-Silva, O. (2020b). Overview of nanocellulose in food packaging. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*, 10. <https://doi.org/10.2174/2212798410666190715153715>
- Souza, F. R. A., Oliveira, J. S. T., Silva, D. P., Oliveira, M. G., Neves, D. D., Silva, W. E., & Stamford, T. C. M. (2021). Biopolímeros na indústria de alimentos: do aproveitamento de resíduos agroindustriais a produção de biopolímeros. *Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 4 (pp. 370-388), Editora Científica Digital.
- Souza, P. G., Santos, S. F., Nogueira, T. B. B., Santana, I., Fai, A. E. C. (2020a). Avaliação de desperdício em restaurantes comerciais do tipo self-service total na Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). *Research, Society and Development*, 9(6), e167963605. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i6.3605>
- Suriyatem, R., Auras, R. A., & Rachtanapun, P. (2018). Improvement of mechanical properties and thermal stability of biodegradable rice starch-based films blended with carboxymethyl chitosan. *Industrial Crops and Products*, 122, 37-48. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.047>
- Takeyama, M. M., Kawaguti, H. Y., Koblitz, M. G. B., & Fai, A. E. C. (2020). Agroindustrial wastes as promising raw materials for obtaining yeast bioproducts - a brief review. [Resíduos agroindustriais como insumos promissores para obtenção de bioprodutos por leveduras - uma breve revisão]. *Research, Society and Development*, 9(7), e588974488.
- Tako, Y., Mathews, J. R. V., & Fai, A. E. C. (2021). *Economia circular para repensar as embalagens: uma breve revisão*. Interfaces entre Desenvolvimento, Meio Ambiente e Sustentabilidade 2. Atena. <https://doi.org/10.22533/at.ed.571211503>
- Teigiserova, D. A., Hamelin, L., & Thomsen, M. (2019). Review of high-value food waste and food residues biorefineries with focus on unavoidable wastes from processing. *Resources, Conservation & Recycling*, 149, 413–426. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.05.003>
- Tencati, A., Pogutz, S., Moda, B., Brambilla, M., & Cacia, C. (2016). Prevention policies addressing packaging and packaging waste: Some emerging trends. *Waste Management*, 56, 35–45.

- Theivasanthi, T., Anne Christma, F. L., Toyin, A. J., Gopinath, S. C. B., & Ravichandran, R. (2018). Synthesis and characterization of cotton fiber-based nanocellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 832-836. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.054>
- Tibolla, H., Feltre, G., Sartori, T., Czaikoski, A., Pelissari, F.M., Menegalli, F.C., & Cunha, R.L. (2020). Shelf life of cashew nut kernels packed in banana starch-based nanocomposites. *International Journal of Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14920>
- Tirado-Gallegos, J. M., Zamudio-Flores, P. B., Ornelas-Paz, J. J., et al. (2018). Elaboration and characterization of active apple starch films incorporated with ellagic acid. *Coatings*, 8(11), 384. <https://doi.org/10.3390/coatings8110384>
- Tosati, J. V., Messias, V. C., Carvalho, P. I. N., Pollonio, M. A. R., Meireles, M. A. A., & Monteiro, A. R. (2017). Antimicrobial effect of edible coating blend based on turmeric starch residue and gelatin applied onto fresh frankfurter sausage. *Food and Bioprocess Technology*, 10, 2165-2175. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1985-1>
- Travalini, A. P., Lamsal, B., Magalhães, W. L. E., & Demiate, I. M. (2019). Cassava starch films reinforced with lignocellulose nanofibers from cassava bagasse. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 1151-1161. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.115>
- UNEP. (2018). Single-use plastics: a roadmap for sustainability. <<https://www.unep.org/resources/report/single-use-plastics-roadmap-sustainability>>.
- UNEP. (2021). Food waste index report. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/1KTB1mq9sSWXx38bDfvF0PQy0sEKYsgrm/view>>. Acesso em: 13 de maio de 2021.
- Velarde, E. D. A., Martínez, D. L. P., Salem, A. Z. M., García, P. G. M., & Berasain, M. D. M. (2020). Antioxidant and antimicrobial capacity of three agroindustrial residues as animal feeds. *Agroforestry Systems*, 94, 1393-1402. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-00343-7>
- Velenturf, A. P. M., & Purnell, P. (2021). Principles for a sustainable circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1437-1457. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.018>
- Vidal, O. L., Tsukui, A., Garrett, R., Rocha-Leão, M. H. M., Carvalho, C. W. P., Freitas, S. P., Rezende, C. M., & Ferreira, M. S. L. (2019). Production of bioactive films of carboxymethyl cellulose enriched with green coffee oil and its residues. *International Journal of Biological Macromolecules*, 146, 730-738. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.123>
- Wang, L. F., Shankar, S., & Rhim, J. W. (2017). Properties of alginate-based films reinforced with cellulose fibers and cellulose nanowhiskers isolated from mulberry pulp. *Food Hydrocolloids*, 63, 201-208. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.041>
- Willett, W., Rockström, J., Loken, B., et al. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet*, 393, 447-492. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)
- Wróblewska-Krepsztul, J., Rydzkowski, T., Borowski, G., Szczypiński, M., Klepka, T., & Thakur, V. K. (2018). Recent progress in biodegradable polymers and nanocomposites-based packaging materials for sustainable environment. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 23(4), 383-395. <https://doi.org/10.1080/1023666X.2018.1455382>
- Yepes, O. O., Di Goglio, L., Goyanes, S., Mauri, A., Famá, L. (2019). Influence of process (extrusion/thermo-compression, casting) and lentil protein content on physicochemical properties of starch films. *Carbohydrate Polymers*, 208, 221-231. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.12.030>
- Zheng, J., & Suh, S. (2019). Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics. *Nature Climate Change*, 9(5), 374-378. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0459-z>
- Zuin, V. G., & Ramin, L. Z. (2018). Green and sustainable separation of natural products from agro-industrial waste: challenges, potentialities, and perspectives on emerging approaches. *Topics in Current Chemistry*, 376(3), 1-54. <https://doi.org/10.1007/s41061-017-0182-z>