

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Alimentos e Nutrição  
Curso de Engenharia de Alimentos

Victória Vivian Barbosa de Oliveira

**FRUTOS DO CERRADO E *COMMODITIES* AGRÍCOLAS:  
UMA REVISÃO SOBRE POSSIBILIDADES NO SETOR DE  
BIOEMBALAGENS**

CAMPO GRANDE - MS  
2025

Victória Vivian Barbosa de Oliveira

**FRUTOS DO CERRADO E *COMMODITIES* AGRÍCOLAS: UMA  
REVISÃO SOBRE POSSIBILIDADES NO SETOR DE  
BIOEMBALAGENS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Luísa Freire Colombo

CAMPO GRANDE – MS

2025

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por todas as bênçãos concedidas ao longo de minha jornada acadêmica. Bem como pela paciência, perseverança e ânimo para que eu pudesse completar esta etapa da vida.

Minha profunda gratidão à minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Luísa Freire Colombo, por sua exímia orientação, paciência, apoio e incentivo. Bem como aos professores do curso de Engenharia de Alimentos, pelos ensinamentos que me foram de grande valia e contribuíram para meu crescimento acadêmico e profissional.

À minha família, gratidão pelo amor e encorajamento mesmo à distância. Agradeço também aos meus amigos, que estiveram ao meu lado em cada momento da caminhada, a amizade que construímos e as experiências que vivemos tornaram-na memorável.

Agradeço à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul pelo ambiente acadêmico proporcionado e pela oportunidade de realizar este trabalho.

Dedico este trabalho à memória do meu avô Luiz Antônio, cujo esforço e dedicação foram essenciais para a fundação de sua empresa de reciclagem, o grande entusiasmo de sua vida. Seu legado e valores seguirão me inspirando todos os dias.

## RESUMO

A crise ambiental causada pelo aumento da produção de resíduos sólidos representa um desafio significativo para a sociedade moderna, especialmente considerando o papel central das embalagens na economia global. A exploração excessiva dos recursos naturais tem gerado escassez, extinção de espécies e ameaças à segurança alimentar, o que torna a sustentabilidade uma prioridade crescente. A bioeconomia surge como uma alternativa viável, oferecendo uma abordagem sustentável baseada no uso de recursos biológicos, recicláveis e renováveis para criar novos produtos e processos. Neste contexto, a agricultura desempenha um papel crucial, especialmente em regiões como o Mato Grosso do Sul, onde a produção de cana-de-açúcar, soja e milho é significativa. Os resíduos dessas *commodities* podem ser convertidos em biopolímeros biodegradáveis, que se decompõem rapidamente e causam menos impacto ambiental do que as embalagens tradicionais. Além disso, a utilização de frutos nativos do Cerrado, como Baru, Murici, Mama-cadela, Buriti e Pequi, para a produção de bioembalagens, pode oferecer uma solução sustentável e econômica. Esses frutos não apenas aproveitam recursos locais, mas também promovem a valorização da agricultura familiar e a preservação ambiental. Portanto, esta revisão sistemática tem como objetivo explorar o potencial de frutos do Cerrado e dos resíduos das principais *commodities* agrícolas de Mato Grosso do Sul para a produção de embalagens sustentáveis, além de identificar como esses materiais podem ser utilizados para criar soluções ecológicas, contribuindo para a redução do impacto ambiental e impulsionando a sustentabilidade regional.

**Palavras-chaves:** *biodegradável; bioeconomia; biopolímeros; economia circular; embalagens sustentáveis; frutos nativos; aproveitamento de resíduos; sustentabilidade.*

## ABSTRACT

The environmental crisis caused by the increasing production of solid waste represents a significant challenge for modern society, especially considering the central role of packaging in the global economy. Overexploitation of natural resources has led to scarcity, species extinction and threats to food security, making sustainability a growing priority. The bioeconomy has emerged as a viable alternative, offering a sustainable approach based on the use of biological, recyclable and renewable resources to create new products and processes. In this context, agriculture plays a crucial role, especially in regions such as Mato Grosso do Sul, where sugar cane, soy and corn production is significant. Waste from these commodities can be converted into biodegradable biopolymers, which break down quickly and cause less environmental impact than traditional packaging. In addition, the use of fruits native to the Cerrado, such as Baru, Murici, Mama-cadela, Buriti and Pequi, for the production of bio-packaging can offer a sustainable and economical solution. These fruits not only take advantage of local resources, but also promote the valorization of family farming and environmental preservation. Therefore, this systematic review aims to explore the potential of Cerrado fruits and waste from the main agricultural commodities in Mato Grosso do Sul for the production of sustainable packaging, as well as identifying how these materials can be used to create ecological solutions, contributing to reducing environmental impact and boosting regional sustainability.

**Keywords:** *biodegradable; bioeconomy; biopolymers; circular economy; sustainable packaging; native fruits; waste utilization; sustainability.*

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>7</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>10</b>
2.1 Bioeconomia.....	10
2.2 Economia circular.....	12
2.3 Embalagens sustentáveis.....	14
2.4 Tecnologia de produção de embalagens sustentáveis.....	16
2.5 Aproveitamento de resíduos na elaboração de embalagens sustentáveis.....	21
2.5.1 Commodities agrícolas.....	23
2.5.2 Frutos do Cerrado.....	26
2.6 Conservação e segurança dos produtos embalados com embalagens sustentáveis...	30
<b>3. PERSPECTIVAS FUTURAS.....</b>	<b>32</b>
<b>4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>34</b>
<b>5. APÊNDICE.....</b>	<b>43</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes problemas sócio-econômicos da atualidade é a crise ambiental gerada ao longo dos séculos proveniente do aumento da produção de resíduos sólidos. Na sociedade moderna, a embalagem é um fator importante para medir a atividade econômica dos países industrializados (LANDIM, *et al*, 2016). Entretanto, ao longo dos anos, a exploração dos recursos resultou em uma escassez, que juntamente com outras consequências, como a extinção de espécies, coloca em risco a segurança alimentar e os setores de abastecimento de alimentos (FUNDAJ, 2021). Diante dessa perspectiva, temas relacionados à sustentabilidade têm sido cada vez mais abordados e explorados, no intuito de relacionar a utilização responsável dos recursos naturais a um modelo de economia que respeite os pilares da sustentabilidade.

Nesse contexto, a bioeconomia mostra-se como uma das mais importantes soluções para a preservação dos recursos naturais e a regeneração dos biomas. Esta se dá por uma economia sustentável que é focada em todos os setores da economia que utilizam recursos biológicos, recicláveis e renováveis, resultando no desenvolvimento de novos produtos, processos e serviços. Além disso, o investimento em soluções inovadoras para resolver questões ambientais é um diferencial de sustentabilidade e competitividade adotado por empresas que também promovem a geração de novos negócios (SEMAGRO, 2018).

A atividade agrícola é a engrenagem da economia sul-mato-grossense. Significativa evolução na produção e nas áreas plantadas de cana-de-açúcar, soja e milho têm sido observadas ao longo dos anos (COSTA, *et al*, 2014). Estas *commodities*, sofrem biodegradação com relativa facilidade, se integrando totalmente à natureza. Neste sentido,

faz-se relevante avaliar a utilização destas e seus resíduos na produção de polímeros biodegradáveis.

Uma substância é considerada biodegradável quando microrganismos presentes no meio ambiente, como bactérias, fungos e algas, forem capazes de degradá-las, convertendo-a em biomassa, dióxido de carbono e água. A principal vantagem deste tipo de embalagem é que ela diminui os efeitos nocivos no meio ambiente, visto que sua permanência neste é menor do que a de embalagens não biodegradáveis (ECYCLE, 2022).

A agricultura familiar é outro ponto que se faz importante no âmbito da sustentabilidade no estado, uma vez que ao ser apoiada, fortalecida e desenvolvida, pode ser uma excelente fonte de valorização e preservação ambiental das riquezas do Cerrado, dentre elas os frutos nativos, como baru, guavira, jatobá, umbu e pequi, podendo ser consumidos in natura, processados e utilizados como matéria-prima para elaboração de embalagens biodegradáveis.

Nesse sentido é extremamente importante identificar e rastrear as possibilidades de utilização dos recursos abundantes do estado do Mato Grosso do Sul na produção de biopolímeros, que além de agregar valor e reconhecimento aos frutos nativos, contribuirá para o avanço da sustentabilidade na região.

A biomassa agrícola é atualmente aproveitada como matéria-prima para produção de novos produtos como biocombustíveis, bioenergia, biopolímeros, biomateriais, produtos químicos, farmacêuticos, cosméticos e produtos de higiene, além de agroquímicos como biofertilizantes e biopesticidas, gerando inúmeros benefícios socioeconômicos e ambientais à nossa sociedade (VAZ, 2020). O principal objetivo do aproveitamento de resíduos e de frutos não explorados na elaboração e embalagens biodegradáveis é contribuir com a sustentabilidade, reduzindo ao máximo os impactos causados por embalagem que levam anos para se decompor, além de impulsionar o mercado, apresentando um diferencial competitivo.

O aproveitamento de resíduos tem como finalidade prolongar a vida útil de materiais que são julgados com inutilizáveis e são, muitas vezes, descartados de maneira incorreta, pela falta de visibilidade de novas destinações. Enquanto isso, a produção de embalagens sustentáveis promove uma série de vantagens, como a redução dos custos de transporte, a minimização do uso de insumos e principalmente, causa menor impacto ambiental (ZETTY ARENAS, 2015). Ambas ações, quando utilizadas em conjunto manifestam grande impacto na bioeconomia, uma vez que desenvolvem os principais conceitos e ideais nos quais esse formato econômico se baseia.

Ainda existem muitas lacunas para o desenvolvimento de biopolímeros com o intuito de aperfeiçoamento técnico gerando o aumento de escala para que, assim, esses materiais tornem-se tão vantajosos comercial e economicamente quanto às embalagens, filmes e coberturas desenvolvidos com polímeros sintéticos (FERREIRA, *et al*, 2022).

Neste sentido, esta revisão tem como objetivo explorar o potencial dos resíduos de frutos do Cerrado e das principais *commodities* agrícolas do Mato Grosso do Sul para a produção de embalagens sustentáveis, além de identificar como esses materiais podem ser utilizados para criar soluções ecológicas, contribuindo para a redução do impacto ambiental e impulsionando a sustentabilidade regional.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Bioeconomia**

A bioeconomia foi um conceito definido pela primeira vez por R. Martinez e J. Enriquez em 1997, considerada uma oportunidade para conter as alterações climáticas, ao mesmo tempo em que busca manter o crescimento econômico e o bem-estar humano. Eles definem a bioeconomia como um modelo econômico que utiliza recursos biológicos de forma sustentável, buscando maximizar o valor econômico enquanto minimiza os impactos ambientais. O conceito é baseado em um programa desenvolvido na União Europeia (UE) para desenvolver biotecnologias que identifiquem novas soluções para reduzir os impactos negativos das tecnologias antigas (BERTO; FERRAZ; REBELATTO, 2022).

Muitos governos e organizações internacionais adotam essa abordagem para promover a sustentabilidade (STEPHENSON; DAMERELL, 2022). Grande parte da análise da bioeconomia foi conduzida na Europa. Como abrange todos os setores que dependem de recursos biológicos em ecossistemas terrestres e marinhos, a bioeconomia é vista como um elemento central para o funcionamento e sucesso da economia europeia, com um volume de negócios estimado em 2,3 bilhões de euros (COMISSÃO EUROPEIA, 2018). Em 2015, a bioeconomia foi responsável por quase 18 milhões de empregos em indústrias que vão da agricultura às indústrias florestais (RONZON, 2015).

À medida que o conceito de bioeconomia evoluiu, a sustentabilidade foi mencionada mais explicitamente, e a Comissão Europeia declarou que a bioeconomia pode contribuir para a restauração de ecossistemas, bem como para a redução da degradação da terra e para a obtenção de oceanos sem plástico (STEPHENSON; DAMERELL, 2022).

Em um mundo globalizado, ameaçado pelas alterações climáticas, promover uma economia que respeite o meio ambiente é essencial. O aquecimento global e o esgotamento

dos recursos naturais exigem a adoção de uma nova produção e sistema de consumo que certifique a sua própria sustentabilidade (ABAD-SEGURA *et al.*, 2021).

As propostas para um desenvolvimento sustentável impactam diretamente na economia e nas mudanças de tecnologias utilizadas pelos países. Nesse sentido, a bioeconomia resulta do desenvolvimento de produtos que fazem uso de recursos da biodiversidade e que podem ser gerados a partir de diferentes áreas do conhecimento, como ciências básicas, aplicadas e áreas tecnológicas (WILLERDING, *et al*, 2020). O Programa de Subvenção Econômica à Inovação tem contribuído para o avanço das pesquisas na área da bioeconomia e avanços nos campos de biotecnologia e bioeconomia por parte do Brasil têm sido observados (FAO, 2012). Na medida em que os custos decrescem e a quantidade de produtos da bioeconomia aumenta, portanto, é crucial para o Brasil antecipar-se a essa tendência.

A Natura Cosméticos, empresa do grupo Natura & Co e atualmente a 4ª maior do setor de beleza no mundo, atua desde 1999 na região amazônica com um modelo de negócio alinhado à bioeconomia baseado no uso sustentável dos produtos e serviços da sociobiodiversidade. Serviços como o investimento em pesquisas de campo voltadas para o manejo florestal, sistemas agroextrativistas e práticas agrícolas sustentáveis, estímulo à inovação tecnológica e a criação de insumos a partir da biodiversidade local. Graças à promoção do desenvolvimento sustentável, a Natura tem se destacado por estabelecer parcerias com comunidades agroextrativistas, contribuindo para a geração de renda, capacitação local e desenvolvimento de soluções inovadoras para a gestão dos recursos naturais. Em 2011, a empresa inaugurou o "Eco Parque", um parque industrial em Benevides, no Pará, como parte do "Programa Natura Amazônia", reforçando sua atuação local e seu compromisso com a bioeconomia na região (DE ARTESANADO, 2021).

## 2.2 Economia circular

A economia circular surgiu do conceito de que pode ser economicamente mais vantajoso reutilizar e reciclar recursos o máximo possível do que extrair novos materiais. O desenvolvimento de uma economia circular objetiva a eficiência na utilização de materiais e energia, para assegurar um crescimento econômico menos dependente dos recursos naturais e a diminuição da geração de resíduos (EEA, 2018). A própria implementação da Política nacional de resíduos sólidos (PNRS) – estabelecida no Brasil por meio da Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, é um instrumento para a promoção da economia circular (Brasil, 2010).

Existem várias dimensões em que a embalagem pode contribuir e participar da construção de uma economia mais circular, desde o projeto e produção da embalagem, e a otimização de suas funções, até a revalorização no material pós-consumo (ABRE, 2016). Outros conceitos que podem ser associados à economia circular são o de desenvolvimento sustentável, transição ecológica, ciclo de vida ou pensamento “do berço ao túmulo”, economia verde, *ecodesign* e responsabilidade ampliada do produtor (EPR). Todos esses conceitos ligam-se através da busca por uma economia que equilibre crescimento econômico, bem-estar social e preservação ambiental.

Segundo a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), desenvolvimento sustentável é definido como aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades. Após mais de 30 anos desde sua apresentação, o conceito segue presente e influente em acordos, tratados e ações com pauta sustentável mesmo nos dias atuais. Diversos governos também adotaram os princípios propostos pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD). No Brasil, a Constituição Federal de 1988 estabelece que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de

uso comum ao povo, essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL, 1988).

Segundo Biderbost e Boscán (2023), a transição ecológica fundamenta-se na ideia da necessidade de uma mutação progressiva nos nossos modos de produção e consumo, do nosso modo de trabalhar e de viver em sociedade rumo à sustentabilidade. À princípio, essa noção tinha como eixo central essencialmente uma trajetória em direção ao decrescimento, e não se baseava em uma perspectiva de crescimento verde (SEMAL, 2017). Entretanto, devido a sua gradual consolidação, observa-se que a transição ecológica passou principalmente a difundir soluções “verdes”, enfatizando o papel da tecnologia e do crescimento verde.

Todavia, assim como outras alternativas sustentáveis, a economia circular possui seus prós e contras. Os efeitos de rebote são uma preocupação significativa com a economia circular. Existem dois mecanismos principais de rebote: a substituição incorreta entre produtos reciclados e novos e os novos gastos que surgem durante o reprocessamento. Portanto, embora haja redução de gastos no consumo de novos produtos, novos gastos surgem durante o reprocessamento. Dessa forma, não há possibilidade de benefícios econômicos e ambientais absolutos nessa troca. Isso significa que as atividades da economia circular podem gerar um impacto que as empresas com fins lucrativos podem achar difícil de mitigar, uma vez que a nova demanda por materiais reciclados ocasiona pressões econômicas e ecológicas (STEPHENSON; DAMERELL, 2022). Portanto, o impacto da economia circular pode ser limitado pela dificuldade de extinguir os efeitos rebote, impossibilitando a obtenção do equilíbrio sustentável.

### 2.3 Embalagens sustentáveis

A embalagem é um elemento central para a preservação da qualidade dos alimentos, principalmente por controlar as trocas de gases e vapores com a atmosfera externa, contribuir para preservar a qualidade dos alimentos durante o armazenamento, prevenir problemas de segurança de alimentos (prevenção de doenças de origem alimentar e contaminação física e química dos alimentos) e ampliar a vida útil dos alimentos. A RDC nº 727 de 2022 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) define embalagem de alimentos como sendo recipiente, pacote ou embalagem destinada a garantir a conservação e facilitar o transporte e manuseio dos alimentos (ANVISA, 2022).

Recentemente, a embalagem foi identificada como um elemento essencial para enfrentar o principal desafio do consumo alimentar sustentável (LICCIARDELLO, 2017). É do interesse das indústrias desenvolver embalagens que utilizem a menor quantidade possível de material para um mesmo produto, bem como o incentivo à população para reduzir o consumo e descarte inadequado, por meio de políticas públicas (LANDIM, *et al*, 2016). Isto porque a pauta da sustentabilidade está diretamente ligada à produção de alimentos, assim como à promoção do uso econômico sustentável dos recursos naturais existentes no planeta, incentivando a produção de alimentos saudáveis e explorando outras possibilidades para os resíduos gerados.

Partindo deste ponto, surgiu a alternativa do desenvolvimento de revestimentos e filmes biodegradáveis, produzidos a partir de biopolímeros extraídos de resíduos alimentares, o que têm atraído significativa atenção da comunidade científica (FERREIRA *et al.*, 2022). Estas embalagens biodegradáveis têm sido usadas como estratégia sustentável para estender a vida útil de produtos alimentícios, graças a sua capacidade de reduzirem perda de umidade e compostos voláteis, bem como as taxas respiratórias e a produção de etileno (AZEREDO, *et al.*, 2012).

Horue (2021) definiu biopolímeros como sendo grandes moléculas sintetizadas por células e compostas por unidades químicas com certo grau de repetibilidade, conferindo ao biopolímero uma estrutura regular e ordenada, contribuindo para funções específicas. Na celulose, por exemplo, essa repetitividade confere ao polissacarídeo uma rigidez estrutural significativa. Biopolímeros são considerados futuros concorrentes para os polímeros sintéticos devido aos seus atributos de eco-compatibilidade e biodegradabilidade, tornando-se superior aos sintéticos. Além disso, Udayakumar (2021), afirma que os mesmos podem ser classificados como biopolímeros naturais (amido, celulose, quitina e quitosana, gelatina, caseína, etc.), biopolímeros sintetizados quimicamente (fermentação de carboidratos, como o poli ácido lático (PLA), por exemplo) e biopolímeros microbianos (polihidroxicanoatos – PHAs, polihidroxibutirato – PHB, entre outros).

Entre os materiais biodegradáveis mais empregados em filmes para alimentos, destacam-se os polissacarídeos (quitosana, celulose, amido e pectina), lipídeos (óleos, gorduras) e proteínas (proteínas do leite, colágeno e gelatina) (FERREIRA *et al.*, 2022). Os polissacarídeos são geralmente baratos, prontamente disponíveis, biocompatíveis e possuem baixa toxicidade (DIABET *et al.*, 2012).

Geralmente, a inclusão de resíduos e subprodutos de alimentos à base de plantas nos filmes é inferior a 5% (m/m) considerando as propriedades finais otimizadas. Os biopolímeros que são materiais de base compatíveis para esses resíduos são proteínas e amido vegetais, quitosana e polímeros biodegradáveis conhecidos, como o álcool polivinílico e ácido polilático. Geralmente, a resistência à tração dos filmes fabricados com resíduos vegetais está na faixa de 0,7-68,5 MPa em comparação com 7,02 MPa para os filmes poliméricos típicos comumente usados, especialmente o polietileno de baixa densidade (ZHANG; SABLANI, 2021).

Os filmes produzidos a partir de biomoléculas apresentam tempo de degradação menor que embalagens produzidas de material sintético, sendo 90% dos biopolímeros degradados em até 6 meses (UEHARA *et al.*, 2017). Essa degradação é realizada por meio da ação de enzimas ou decomposição química associada a organismos vivos, tais como fungos e bactérias (ZHONG *et al.*, 2020).

Embora possuam menor durabilidade em relação aos plásticos convencionais, esses biopolímeros oferecem benefícios de sustentabilidade e ecologicamente corretos devido às suas fontes renováveis e biodegradabilidade. Entretanto, existem alguns desafios enfrentados pelos materiais de embalagem de biopolímeros como: barreira de umidade inferior, baixa resistência ao calor, baixa resistência mecânica e alto custo em comparação aos termoplásticos tradicionais (CHENG *et al.*, 2024). Todavia, a utilização de biopolímeros pode ser a saída para uma diminuição do uso de plásticos e outros materiais que acabam por poluir o planeta, contribuindo para a economia circular, uma vez que serão projetados para se decompor de maneira segura e eficiente.

Neste sentido, no contexto da indústria alimentícia, esperam-se benefícios significativos em termos de redução do desperdício graças à utilização de um material de embalagem bem dimensionado e adaptado às necessidades alimentares em termos de conservação. Além disso, visa-se substituir plásticos convencionais em uma infinidade de alimentos embalados, ao mesmo tempo em que atendam aos requisitos críticos de preservação de qualidade, segurança, integridade e prazo de validade (VERGHESE *et al.*, 2015).

## **2.4 Tecnologia de produção de embalagens sustentáveis**

De maneira geral, a elaboração dos filmes biodegradáveis a partir de biopolímeros envolve basicamente três componentes: um agente formador de filme, um solvente e um agente plastificante (COSTA, 2018; NOGUEIRA *et al.*, 2018; NOGUEIRA, 2017).

Todavia, no desenvolvimento de embalagens biodegradáveis é importante garantir que todos os componentes misturados nas matrizes poliméricas sejam dispersos eficiente e uniformemente para obter as propriedades desejadas comparáveis com os materiais de embalagem de polímero à base de petróleo comumente usados (FERREIRA *et al.*, 2022).

A seleção de um biopolímero ou combinação de biopolímeros depende de vários fatores: as características físico-químicas desejadas (como tamanho, polaridade, permeabilidade, solubilidade e degradabilidade), e a natureza de qualquer ingrediente ativo adicionado (por exemplo, polaridade, solubilidade e estabilidade) (JOYE; MCCLEMENTS, 2014).

Dessa maneira, os requisitos dos filmes e revestimentos em termos de propriedades físicas e mecânicas permitem determinar a resistência do material e dependem das características do alimento a ser protegido (DILUCIA *et al.*, 2020).

Um dos parâmetros importantes na elaboração de filmes plásticos é a espessura, pois a partir desta característica dependem informações como resistência mecânica e propriedades de barreira a gases e ao vapor de água do material, visto que, variações na espessura acarretam problemas no desempenho mecânico e flutuações nas propriedades de barreira dos filmes (HENRIQUE; CEREDA; SARMENTO, 2008).

Um exemplo a ser citado envolve a preparação de uma solução de biopolímero-solvente que é espalhada em uma superfície para a produção de filmes. À medida que o solvente evapora, o biopolímero forma uma camada de filme. Para isso, solventes apróticos polares como dimetilsulfóxido (DMSO) e dimetilacetamida (DMA) são comumente usados e camadas funcionais adicionais podem ser fundidas sequencialmente para fazer filmes de biopolímero multicamadas. Após isso, a folha de filme plana é finalmente destacada da superfície. A fundição por solvente permite melhor incorporação de aditivos como lipídios,

plastificantes e antimicrobianos em filmes de biopolímero, mas é um processo em lote, portanto, inadequado para grandes volumes (PRAKOSO; INDIARTO; UTAMA, 2023).

Outra técnica que pode ser utilizada citada por Banús (2021) em seu estudo, é a chamada termoformagem, que por sua vez consiste primeiramente na produção das folhas de biopolímero por extrusão ou calandragem. As folhas são aquecidas até amolecer, esticadas em um molde usando vácuo ou pressão e resfriadas para obter o formato desejado. É necessário realizar o controle da temperatura e da espessura da folha para evitar rupturas. No estudo, amido e poliésteres alifáticos foram termoformados em recipientes, bandejas, cubas, copos e embalagens blister usando tanto a vácuo quanto a pressão, de forma que fosse possível avaliar seu comportamento em diferentes condições. Por fim, foi constatado que nessa técnica, agentes plastificantes são frequentemente necessários, pois a baixa resistência ao derretimento limita novamente as taxas de estiramento (BANÚS *et al.*, 2021).

Materiais poliméricos podem ser encontrados em diversas plantas e são geralmente usados para o processo de microencapsulação. Os requisitos de barreira desses filmes e revestimentos comestíveis dependem da sua aplicação e das propriedades do alimento a ser protegido. Quando destinado para o revestimento de frutas e vegetais frescos, por exemplo, devem ter baixa permeabilidade ao vapor de água para reduzir as taxas de dessecação, enquanto a permeabilidade ao oxigênio deve ser baixa o suficiente para retardar a respiração, mas não muito baixa para criar condições anaeróbicas favoráveis a produção de etanol e formação de sabores indesejados (OTONI *et al.*, 2017).

Existem diversos biopolímeros com potencial de aplicação na produção dessas embalagens como por exemplo a quitosana, o amido, o colágeno, glúten, gelatina e a carragenina. A quitosana, em específico, apresenta algumas vantagens, como baixo custo, baixa toxicidade, biocompatibilidade e biodegradabilidade, além de já ter sido utilizado no método de secagem por atomização (GELFUSO *et al.*, 2011).

Esse tipo de processo, por pulverização, já é muito utilizado na indústria alimentícia para aumentar a vida útil dos alimentos, e também tem sido utilizado para a microencapsulação de compostos como polifenóis extraídos de frutas tropicais do Brasil (CABRAL *et al.*, 2018).

De acordo com Cheng (2024), existem diferentes métodos de produção de biopolímeros, sendo adaptados de acordo com o objetivo e suas características específicas. Exemplos de técnicas citados nos estudos de Cheng foram extrusão de filme, extrusão de filme soprado, fundição de filme, termoformagem, filmes multicamadas, espumas e misturas, moldagem por compressão e injeção. A extrusão de filme é citada como a técnica mais amplamente usada para produzir filmes de biopolímero em escala industrial. Tal método consiste em derreter a resina polimérica e forçá-la através de uma matriz de extrusão para formar um filme que é rapidamente resfriado e solidificado em rolos de resfriamento. A extrusão permite a produção contínua de filmes com espessura ajustável. Segundo o mesmo autor, de modo geral, as principais propriedades analisadas por esses métodos de produção são espessura do filme, transparência, flexibilidade e dureza, uniformidade, resistência de impacto, adesão entre as camadas, densidade, porosidade, entre outras propriedades mecânicas.

Em 2022, uma pesquisa realizada por Huang e Wang (2022), destacou que embora filmes celulósicos sejam eficazes em bloquear óleos e gases, sua tendência a absorver água exige que sejam tratados com revestimentos repelentes ou que sejam quimicamente modificados para melhorar sua resistência à umidade. Outro estudo, feito por López-di-castillo (2012) afirma que quando incorporados em matrizes de biopolímeros como proteínas e polissacarídeos, os lipídios podem aumentar a hidrofobicidade, a barreira ao vapor de água, as propriedades mecânicas, antimicrobianas e antioxidantes de filmes e revestimentos para embalagens de alimentos.

Filmes biodegradáveis permitem ajustar a atmosfera na embalagem para se adequar à respiração dos produtos, reduzindo a condensação. Essa propriedade pode ser altamente aproveitada na indústria de alimentos, uma vez que produtos frescos têm altas taxas de respiração e transpiração, levando à perda de peso, deterioração organoléptica e deterioração microbiana.

Um estudo elaborado por Shankar (2021) sobre o efeito da embalagem de filmes compostos na vida útil de morangos mostrou que, quando usados para embalar morangos juntamente com o tratamento de irradiação gama, os filmes compostos de quitosana reduziram a perda de peso e mantiveram maior teor de fenol e antocianina nas frutas durante 12 dias de armazenamento em comparação com amostras controle sem filmes compostos. Sugerindo assim que os filmes ajudaram a preservar a qualidade nutricional.

Outro exemplo envolvendo a quitosana, utilizou de extrato de casca de amendoim incorporado em filmes de quitosana e estes filmes exibiram efeitos antioxidantes e antimicrobianos e mantiveram a qualidade de almôndegas de atum pré-cozidas durante o armazenamento refrigerado por 12 dias, sendo o controle um filme à base de quitosana e os demais adicionados de óleos essenciais de limão, tomilho e canela (PENG; LI, 2014).

Apesar das limitações atualmente existentes, extensos esforços de pesquisa estão focados na modificação das propriedades dos biopolímeros por meio de técnicas de processamento inovadoras, reforço de nanomateriais, incorporação antimicrobiana e antioxidante e mistura de polímeros, em busca de aumentar sua aplicabilidade e contornar as limitações que impedem a substituição de plásticos por biopolímeros.

## 2.5 Aproveitamento de resíduos na elaboração de embalagens sustentáveis

Cerca de 1,05 bilhão de toneladas de resíduos alimentares (incluindo partes não comestíveis) são desperdiçados anualmente no Brasil, totalizando 132 quilos per capita, quase um quinto de todos os alimentos disponíveis para os consumidores (UNEP, 2024). Esse fato conduz a enormes impactos ambientais como aumento da emissão de gases de efeito estufa, degradação do solo e contaminação da água. Desta maneira, é emergente a busca por materiais elaborados a partir de resíduos de produtos alimentícios e commodities agrícolas (MARTINS, *et al.*, 2022).

O desenvolvimento das bioembalagens é dificultado por sérias controvérsias sobre os seus benefícios técnicos, sociais e ambientais. Alegações ambíguas sobre os impactos ambientais, competição entre a utilização alimentar e não alimentar dos recursos agrícolas, elevado custo ambiental das soluções “bio” já existentes são algumas das lacunas observadas (DAVI&SONG, 2006).

A embalagem é geralmente considerada, erroneamente, como um custo econômico e ambiental adicional, em vez de um valor acrescentado para a redução da perda de alimentos, devido à extensão da vida útil dos alimentos. Para contribuir para a resolução das questões ambientais do sistema alimentar/embalagem como um todo, é necessário considerar, além do impacto ambiental do próprio material de embalagem, a sua contribuição para a redução do impacto ambiental da perda e desperdício de alimentos (GUILLARD *et al.*, 2018).

A utilização de biomoléculas extraídas de resíduos da indústria são de caráter promissor, uma vez que agregam valor aos resíduos gerados, são economicamente viáveis e reduzem o impacto causado no meio ambiente (BRAZEIRO, *et al.*, 2021). O estudo de Silva (2017), indicou que filmes elaborados à base de celulose geralmente apresentam uma boa estabilidade química, boas propriedades de permeação, baixo custo, propriedades mecânicas desejáveis, bem como compatibilidade biológica com outras matrizes.

Em 2017, Choi desenvolveu em seu estudo sete combinações de filmes utilizando pó de casca de maçã e carboximetilcelulose como base, com intuito de medir o efeito extrato de casca de maçã e a adição de ácido tartárico. Como resultado ele obteve que a adição de extrato de casca de maçã reduziu significativamente a permeabilidade ao vapor d'água dos filmes. Quanto às propriedades mecânicas, os resultados demonstraram que a resistência à tração dos filmes diminuiu conforme aumentou a quantidade de extrato de casca de maçã, variando de  $5,97 \pm 0,97$  MPa para  $1,19 \pm 0,43$  MPa com concentrações de 0 a 2%. Já a adição de ácido tartárico não teve efeitos significativos nas propriedades mecânicas ou permeabilidade ao vapor d'água. Em relação a solubilidade em água, não houveram interferências significativas nem pela adição de ácido tartárico, nem pelo extrato de casca de maçã.

Já Muangrat e Nuankham (2018), produziram filmes a partir de resíduos de farinha da produção de macarrão, e obtiveram uma formulação com 20% p/p sorbato de potássio/farinha residual capaz de ser aplicado para embrulhar e preservar morangos frescos sobre uma bandeja de espuma, durante armazenamento a 5°C e 90% UR por 9 dias. O filme em questão possuía a resistência à tração ótima com total de 1,65 MPa e alongamento na ruptura 63,61%, juntamente com a menor solubilidade em água (20,01%). Além disso, o filme foi capaz de preservar melhor a qualidade da fruta, mantendo parâmetros como firmeza, antioxidantes e teor de fenol, do que o filme sem sorbato de potássio.

Tyutfin (2020) concluiu em seu estudo que foi possível produzir com sucesso filmes laminados empregando proteína isolada do soro de leite, polissacarídeo (alginato de sódio) e adição de óleo de milho. A maioria demonstrou resistência à tração, resistência à perfuração, atraso na ruptura e resistência ao rasgo, bem como permeabilidade ao vapor de água, permeabilidade ao oxigênio e melhor espessura em relação aos filmes de camada única.

A principal barreira à aceitação pelo mercado é atribuída a escassez técnica relacionada com as especificidades funcionais e de produção dos materiais de base biológica (pectina, polímeros de amido, celulose, proteínas), que são bastante diferentes dos plásticos petroquímicos. Tal diferença se dá principalmente pelo fato dos plásticos petroquímicos não serem renováveis, mas também por outro fatores como suas propriedades físicas e funcionais, processos de produção, custo e nível de degradação do meio ambiente (GUILLARD *et al.*, 2018).

De acordo com Cheng (2024), biopolímeros requerem condições específicas para completa biodegradação, de forma que muitas regiões não possuem as instalações adequadas. Além disso, existem preocupações com a toxicidade, uma vez que durante a degradação prematura há possibilidade de liberação de gases de efeito estufa, monômeros e nanopartículas (CHENG *et al.*, 2024).

### **2.5.1 *Commodities* agrícolas**

Entende-se por *commodities* as mercadorias com baixa transformação industrial, de pouco valor agregado cuja competição se estabelece em preços e não na diferenciação do produto, visto ser uma de suas características a padronização como, por exemplo, soja e minério de ferro, que são *commodities* presentes nas exportações de Mato Grosso do Sul (LAMOSO, 2018). Suas principais características estão na definição de seus preços pelo mercado internacional e o seu baixo valor agregado, acarretando geralmente aos seus países produtores vulnerabilidade no mercado internacional (PORTO & MILANEZ, 2009).

Levantamentos realizados pela Comex Stat, em 2023, indicaram que os principais produtos brasileiros exportados de Mato Grosso do Sul são a soja com 37% do total exportado, celulose com 21%, carne bovina 11% e açúcares e melaços com 7,3% (BUENO, 2024). Além disso, segundo dados da Associação dos Produtores de Bioenergia de Mato

Grosso do Sul (Biosul), a safra 2023/2024 de cana-de-açúcar de Mato Grosso do Sul bate recorde e ultrapassa pela primeira vez a marca de 50,5 milhões de toneladas, produzindo 2,1 milhão de toneladas de açúcar e 3,7 bilhões de litros de etanol. Esse crescimento é decorrência da chegada de grandes agroindústrias no estado, como as de Dourados, Sidrolândia e Maracaju (SEMADESC, 2024).

No entanto, é necessário considerar os resíduos gerados durante a produção dessas *commodities*. Os resíduos agroindustriais são provenientes de processos produtivos da atividade agrícola, ou seja, são provenientes de matérias-primas produzidas no campo, resultantes das atividades de colheita ou beneficiamento dos produtos agrícolas. Exemplos: bagaço e palhico da cana-de-açúcar, casca de arroz, sabugo de milho, bagaço de limão e laranja, casca de amendoim, palha de trigo, entre outros (PUPO, 2012).

A soja é um dos principais produtos agrícolas em todo o mundo, sendo o óleo e a proteína os principais focos desta cultura para as indústrias. Já a vagem da soja que é retirada para a extração do grão e nesse processo não tem mais utilidade, é redirecionada para a produção de alimentação animal ou mesmo descartada (MARTINS, 2015).

Martins (2015) também afirma que devido à alta disponibilidade, baixo custo, e grande quantidade dos resíduos de biomassa vegetal, estes vêm se tornando uma oportunidade viável para a inserção na produção de novos produtos, o que agrega valor a estes por reduzir os custos de produção e o descarte no meio ambiente. Portanto, com base neste exemplo e analisando o perfil agrícola do estado de Mato Grosso do Sul, é pertinente analisar as novas alternativas e suas possíveis aplicabilidades para o aproveitamento de resíduos gerados ao longo da cadeia produtiva de *commodities* no estado.

De acordo com De Sá (2021) a partir da análise qualitativa dos resultados levantados a partir da literatura, concluiu em seu trabalho que na produção de compósitos e filmes, a maior parte dos resíduos são incorporados para melhorar as propriedades dos materiais e que grande

parte dos artigos relatam a inserção de bagaços e cascas em matrizes de amido para produção de estruturas semirrígidas. Enquanto no desenvolvimento de embalagens ativas e inteligentes, os extratos obtidos a partir de resíduos agroindustriais atuam, geralmente, como antioxidantes e antimicrobianos em embalagens ativas.

No estudo feito por Arantes et al. (2014), foram preparados diferentes biopolímeros com concentrações variadas de amido, glicerol e bagaço de malte a fim de encontrar a melhor combinação para produção de um polímero biodegradável visando os preceitos de economia circular. Os resultados indicam que a adição do glicerol é fundamental para a formação do filme, visto que sem o glicerol não houve a plastificação do amido. Bem como percebeu-se o impacto que a adição do bagaço tem nos filmes, formando um material mais rígido e com menos umidade, sendo assim mais duradouro e resistente. Além disso, o estudo ressalta a importância do uso de materiais renováveis e resíduos agrícolas na produção de filmes biodegradáveis considerando a abordagem da economia circular.

Santos et al. (2021) em seu estudo, que buscou desenvolver um novo material com resíduo de soja incorporado ao polietileno de baixa densidade (PEBD), afirma que o teor de resíduo de soja não afetou significativamente a densidade dos materiais em relação ao PEBD puro, o que é benéfico para aplicações que exijam manter a leveza deste material, enquanto o teor de umidade e absorção de água aumentou significativamente com o acréscimo de soja incorporada, devido à natureza higroscópica dos materiais lignocelulósicos. Portanto, é necessário que a substituição do PEBD puro pelo resíduo de soja seja apenas parcial, para manter o valor considerado satisfatório, sendo este de 3,01%. Qualquer valor que ultrapasse essa porcentagem seria inadequado para utilização, uma vez que quanto maior a umidade, maior o volume de gases gerados, no interior, cabeçote e matriz da extrusora, com formação de bolhas, manchas superficiais e dificuldade da adesão matriz/resíduo durante o processo.

Dessa forma, o trabalho concluiu que foi possível transformar este polímero de origem petrolífera em um material mais sustentável.

Dessa forma, seria possível investigar em Mato Grosso do Sul o desenvolvimento de tecnologias que incentivem e pratiquem uma abordagem sustentável em relação a essas perdas e resíduos gerados, com intuito de executar os fundamentos da economia circular, mas ainda com foco no desenvolvimento de biopolímeros.

### **2.5.2 Frutos do Cerrado**

O Cerrado é um dos biomas brasileiros que mais apresentam biodiversidade, dentre suas características estão os seus frutos, que apesar de serem pouco conhecidos e fracamente inseridos no mercado, apresentam um grande potencial de exploração nas mais diversas áreas comerciais. Pequi (*Caryocar brasiliense*), Bocaiúva (*Acrocomia aculeata*), Mangaba (*Hancornia speciosa*), Cagaita (*Eugenia dysenterica*), Baru (*Dipteryx alata*), Murici (*Byrsonima crassifolia*), Mama-cadela (*Brosimum gaudichaudii*), Buriti (*Mauritia flexuosa*), Araticum (*Annona crassiflora*) e Guabiroba (*Campomanesia xanthocarpa*), são frutos que estão presentes no Cerrado, com características sensoriais particulares e com alta qualidade nutricional que os tornam atraentes para serem explorados, pesquisados e comercializados (REIS *et al.*, 2019).

A exploração de frutos do Cerrado apresenta grande potencial no cenário agroindustrial brasileiro, uma vez que viabiliza a comercialização dos frutos, gerando emprego e renda à população local, favorecendo a ampliação industrial, minimizando o desperdício, promovendo a geração de coprodutos e a sustentabilidade.

Nesse contexto, é imprescindível a caracterização dos frutos do Cerrado, em especial seus compostos bioativos (que apresentam propriedades antioxidantes, antimicrobianas, anti

carcinogênicas, anti degenerativas e retardadoras de envelhecimento) em busca de fontes alternativas que possam contribuir para a formulação de novos produtos, dentre eles as embalagens sustentáveis e embalagens ativas (LUZIA, 2012).

Gonçalves (2015) descreve o Pequi (*Caryocar Brasiliense Camb.*) como um fruto do tipo drupa com epicarpo espesso de coloração esverdeada a tons de roxo, mesocarpo externo de cor esbranquiçada e mesocarpo interno (polpa) de cor amarela, coberta por um endocarpo espinhoso, o qual possui a função de proteger a amêndoa (uma a quatro, encontradas na parte central do fruto). A polpa é rica em lipídeos (principalmente ácidos graxos oleico e palmítico) e fibras alimentares, como pectina (ramnogalacturonanas) e hemicelulose (arabinogalactanas, xilanas e glucomanas). Além disso, possui ainda compostos fenólicos (polifenóis, proantocianidinas não extraíveis), componentes bioativos com expressiva capacidade antioxidante (LEÃO et al., 2017).

O Buriti (*Mauritia flexuosa L.f.*), segundo Reis (2019), é um fruto com forma elipsoidal, coloração castanho-avermelhado, podendo ser isento ou apresentar até dois caroços. A camada externa é revestida por escamas brilhantes e, abaixo destas, há uma pasta amarela, que recobre o caroço. Ademais, a polpa do buriti possui alto teor de fibras alimentares, polifenóis, lipídios com ácidos graxos insaturados e ferro. No estudo é citado que o Buriti possui entre 8 e 19% de teor de lipídios e 1,4 a 3% de proteína (PESSÔA, 2017).

O Murici (*Byrsonima crassifolia*) é do tipo drupa, possui coloração amarelada, formato esférico e levemente achatado, apresenta diâmetro aproximado de 1,5 a 2,0 cm (REIS, 2019). A casca possui sabor adstringente devido à presença de taninos e a polpa é carnosa e suculenta. O fruto é fonte de energia, lipídios (1,78 a 3%), fibras alimentares, cálcio e vitamina C (84 mg/100 g), além de possuir componentes antioxidantes, como os compostos fenólicos e os carotenóides (CARVALHO; NASCIMENTO, 2016).

De acordo com Alves (2013), a Mama-cadela (*Brosimum gaudichaudii* Tréc) exibe frutos do tipo drupa com casca globosa, coloração amarelo-alaranjado e textura verrucosa. Ademais, a polpa possui quantidades consideráveis de compostos bioativos, como o ácido ascórbico e compostos fenólicos, além de elevados teores de carotenóides, principalmente licopeno e  $\beta$ -caroteno, apresentando características antioxidantes. Sendo seus teores de lipídeos e proteínas são respectivamente 4,6% e 4,28%.

O Baru (*Dipteryx alata* Vog.) é uma leguminosa do tipo drupa, com formato ovalado e levemente achatado, com coloração marrom, tegumento externo liso e brilhante, e possui apenas uma amêndoa comestível (GUIMARÃES *et al.*, 2016). O estudo de Silva *et al.* (2019), demonstrou que a amêndoa possui altos teores de lipídeos e proteínas, 40% e 30% de sua composição respectivamente.

Tais propriedades fazem com que os frutos citados acima se encaixem no perfil de material biodegradável que pode ser utilizado no desenvolvimento de biopolímeros, de acordo com o que foi citado na seção 2.3 do presente trabalho. Alguns frutos possuem baixa aplicabilidade (alto teor de umidade, baixa quantidade de lipídeos e proteína) e portanto não foram citados, como a Guabiroba (*Campomanesia xanthocarpa*), Araticum (*Annona crassiflora*), Bocaiúva (*Acrocomia aculeata*) e Cagaita (*Eugenia dysenterica*). A Guabiroba por exemplo, possui alto teor de umidade e baixa quantidade de lipídeos (ALVES *et al.*, 2013), duas características que são indesejáveis na produção de biofilmes, considerando principalmente que o alto teor de umidade reduz a barreira de vapor de água do filme (HUANG; WANG, 2022).

**Tabela 1 - Características dos frutos em potencial**

<b>Fruto</b>	<b>Lipídios (%)</b>	<b>Fibras (%)</b>	<b>Compostos Bioativos</b>	<b>Potencial</b>
Pequi	45 – 60	10 – 15	Carotenóides, tocoferóis, ácidos graxos insaturados	Matriz para bioplásticos e filmes biodegradáveis
Buriti	40 – 50	12 – 18	Carotenóides (betacaroteno), polifenóis, ácidos graxos	Fonte de celulose para embalagens sustentáveis
Baru	35 – 50	15 – 20	Ácidos graxos essenciais, compostos fenólicos, flavonoides	Uso potencial na produção de biopolímeros biodegradáveis
Mama-cadela	25 – 35	10 – 14	Saponinas, alcalóides, compostos fenólicos	Aplicação em filmes comestíveis e biodegradáveis
Murici	20 – 30	8 – 12	Flavonoides, taninos, ácido ascórbico (vitamina C)	Produção de biocompósitos e embalagens sustentáveis

Fonte: elaborada pela autora, com dados de Alves (2013), Carvalho 2016, Guimarães 2012 e Reis (2019)

Os frutos nativos do Cerrado possuem propriedades interessantes em relação à produção de biopolímeros, como a presença de polissacarídeos, alto teor de fibras, compostos fenólicos, baixo custo e disponibilidade. No estudo realizado por Oliveira Filho (2022) desenvolveu-se filmes bioativos comestíveis baseados em alginato e polpa de Mangaba (*Hancornia speciosa*) e obteve como principais resultados excelentes barreiras contra permeabilidade ao vapor d'água (PVA) e luz ultravioleta (UV), sendo capazes de manter sua viabilidade durante o armazenamento. Representando assim, novos materiais bioativos com potencial aplicação como materiais de embalagem de alimentos.

Tais estudos reforçam a necessidade e a importância de pesquisas envolvendo resíduos de frutos nativos, especialmente as cascas, visando o desenvolvimento de produtos de valor agregado, como filmes comestíveis, prebióticos e nanopartículas, entre outros. O uso de

subprodutos industriais reduz os resíduos, convertendo-os em resultados econômicos benéficos para sociedade e meio ambiente (BRITO *et al.*, 2022).

## **2.6 Conservação e segurança dos produtos embalados com embalagens sustentáveis**

Devido às tendências globais voltadas para a sustentabilidade, a preservação e a segurança dos produtos acondicionados em embalagens sustentáveis têm se tornado tópicos cada vez mais significativos nas práticas empresariais responsáveis.

Karkhanis, S. S. *et al.* (2021), em pesquisa publicada na *Food Packaging and Shelf Life*, estudaram o uso de materiais compostáveis, como celulose, amido, ácido polilático (PLA), polihidroxialcanoatos (PHA), alginato de sódio, para o desenvolvimento de filmes. Definindo características que atendam aos padrões de segurança alimentar, demonstrando que essas soluções sustentáveis podem oferecer proteção eficaz sem comprometer a saúde do consumidor, sem deixar de discutir sobre os riscos que esses nanomateriais podem ou não apresentar como seu potencial tóxico.

Em um estudo feito na Suíça (PRZYBYSZEWSKA *et al.*, 2023), filmes nanocompositos de óxido de zinco (ZnO) foram produzidos com sucesso e os bionanocompósitos apresentaram boas propriedades antimicrobianas, especialmente contra o crescimento de *Enterobacteriaceae* durante armazenamento refrigerado de carne fresca de aves. Os filmes originais à base de pectina protegem as carnes de aves e reduzem a taxa de crescimento de microrganismos em comparação com carne não embalada. Porém, a incorporação de nanocompósitos de ZnO na matriz de pectina reduziu ainda mais o crescimento, este efeito foi atribuído à melhoria nas propriedades de barreira (O<sub>2</sub>, UV light) derivada da incorporação dos nanocompósitos na matriz polimérica. Esta melhoria também se refletiu nos resultados de pH, acidez e nitrogênio básico volátil total.

Já em um estudo realizado na China (FANG *et al.*, 2020), utilizou o método de sonicação, que consiste no tratamento de amostras por ondas de pressão e da incorporação do carvacrol, um ativador de canais iônicos, para produzir um filme de goma de linhaça. Como resultado, foi demonstrado que o enriquecimento dos filmes com o carvacrol garantiu propriedades antibacterianas contra alguns microrganismos deteriorantes, bem como propriedades antioxidantes aumentadas e que ambas foram aprimoradas pela sonicação.

Portanto, estudos científicos acerca do tema “bioembalagens” em sua totalidade, estão sujeitos à pesquisas mais aprofundadas em relação à sua aplicabilidade na embalagem de alimentos. São necessárias maiores investigações, especialmente com aplicação dos frutos do Cerrado, por serem pouco explorados no contexto de biopolímeros, filmes e embalagens biodegradáveis para alimentos

### 3. PERSPECTIVAS FUTURAS

É crucial investir na exploração de resíduos do Cerrado, como cascas e sementes, que até o momento permanecem subutilizados. Além disso, é necessário avançar nas investigações sobre as propriedades funcionais dos biopolímeros, incluindo a incorporação de compostos antioxidantes e antimicrobianos. Devido à ausência de regulamentação específica sobre embalagens sustentáveis, biopolímeros e materiais biodegradáveis, há muitas lacunas e incertezas em relação à sua produção.

Apesar disso, os resultados desta revisão sugerem amplo potencial para a criação de materiais sustentáveis com múltiplas funcionalidades, como filmes com propriedades antimicrobianas, antioxidantes e de barreira. O uso de subprodutos, como as cascas de frutos nativos, parece uma alternativa promissora, possibilitando a transformação de resíduos em produtos de alto valor agregado, como biofilmes, contribuindo para a sustentabilidade, a redução de resíduos e a preservação de alimentos. Os frutos do Cerrado também se destacam como potenciais componentes para a fabricação de biopolímeros e embalagens ecológicas, graças à sua abundância em compostos bioativos, como compostos fenólicos, polissacarídeos e lipídios. Frutos como pequi, buriti, murici, mama-cadela e baru se destacam por sua composição nutricional rica em lipídios, fibras e antioxidantes, mostrando-se promissores na fabricação de biofilmes e embalagens adequadas para o consumo.

Contudo, é preciso levar em conta que apesar do potencial dos frutos do Cerrado, alguns, como a guariroba, apresentam propriedades que limitam sua aplicação em biopolímeros, devido ao alto teor de umidade e à baixa concentração de lipídios. A pesquisa e a criação de soluções para superar essas limitações são essenciais para ampliar o uso desses recursos.

Além disso, são necessárias investigações adicionais sobre os métodos de extração, purificação e modificação dos compostos bioativos presentes nos frutos do Cerrado, para aprimorar e otimizar a produção de biopolímeros de maneira eficiente e econômica. Assim, é possível desenvolver filmes que não apenas atendam aos requisitos de conservação de alimentos, mas também ofereçam soluções para o mercado agroindustrial, ampliando a aplicabilidade desses materiais sustentáveis.

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAD-SEGURA, E. et al. **Implications for sustainability of the joint application of bioeconomy and circular economy: A worldwide trend study.** Sustainability, v. 13, n. 13, p. 7182, 2021.

ALVES, A. M. **Caracterização física e química, compostos bioativos e capacidade antioxidante de frutas nativas do Cerrado.** Universidade Federal de Goiás - Goiânia, 2013.

ALVES, A. M. et al. **Caracterização física e química, fenólicos totais e atividade antioxidante da polpa e resíduo de gabioba.** Revista brasileira de fruticultura, v. 35, n. 3, p. 837–844, 2013.

ALVES-SILVA, G. F. et al. **Effects of biodegradable and active sachets based on sodium alginate and Macaúba (*Acrocomia aculeata*) pulp extract on the quality of olive oil.** Journal of applied polymer science, v. 140, n. 26, 2023.

ARANTES, G. et al. **UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE PARA PREPARAÇÃO DE BIOPLÁSTICOS: UMA PROPOSTA DE ECONOMIA CIRCULAR AO SETOR CERVEJEIRO.** Química nova, 2024.

AZEREDO, H. M. C. de et al. **Fundamentos de estabilidade de alimentos: princípios dos métodos de conservação de alimentos.** 2. ed. Brasília: Embrapa, 2012.

BANÚS, N. et al. **Deep learning for the quality control of thermoforming food packages.** Scientific reports, v. 11, n. 1, 2021.

BRAZEIRO, F. S. G.; IMTHON, N. D. **Filmes biodegradáveis baseados em polissacarídeos e proteínas, extraídos de resíduos industriais para aplicação em**

**embalagens de alimentos: revisão sistemática da literatura.** Disponível em: <<https://repositorio.unipampa.edu.br>> , 14 mai. 2021.

BRITO, G. O. DE et al. **Phenolic compound profile by UPLC-MS/MS and encapsulation with chitosan of *Spondias mombin* L. fruit peel extract from Cerrado hotspot—Brazil.** *Molecules* (Basel, Switzerland), v. 27, n. 8, p. 2382, 2022.

BRITO, T. B. et al. **Fruit and vegetable residues flours with different granulometry range as raw material for pectin-enriched biodegradable film preparation.** *Food Research International*, v. 121, p. 412–421, 1 jul. 2019.

CABRAL, B. R. P. et al. **Improving stability of antioxidant compounds from *Plinia cauliflora* (jaboticaba) fruit peel extract by encapsulation in chitosan microparticles.** *Journal of food engineering*, v. 238, p. 195–201, 2018.

CABRAL DE OLIVEIRA, D. E.; RESENDE, O.; MOREIRA COSTA, L. **Efeitos da secagem na coloração dos frutos de baru (*Dipteryx alata* Vogel).** *Revista Agro ambiente On-line*, v. 10, n. 4, p. 364, 2017.

CARVALHO, A. V., & Nascimento, W. M. O. **Caracterização físico-química e química da polpa de frutos de Muruci.** *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 108, 1-17. Belém, 2016.

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

CHOI, I. et al. **Development of biopolymer composite films using a microfluidization technique for carboxymethylcellulose and apple skin particles.** *International journal of molecular sciences*, v. 18, n. 6, p. 1278, 2017.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso Futuro Comum**. 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991.

COSTA, A. S. V. DA. **Resíduos industriais como matéria prima na produção de fertilizantes e utilização no cultivo de milho e feijão**. Research, Society and Development, v. 9, n. 8, p. e713986125–e713986125, 30 jul. 2020.

COSTA, T. L. E. **Desenvolvimento e caracterização de filmes e blendas poliméricas de quitosana, pectina e fécula de mandioca para revestimento em frutos**. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018.

DAVIS, G.; SONG, J. H. **Biodegradable packaging based on raw materials from crops and their impact on waste management**. Industrial crops and products, v. 23, n. 2, p. 147–161, 2006.

DE ARTESANADO, M. I. S. M. A. L. **The new bioeconomy in the Amazon: Opportunities and challenges for a healthy standing forest and flowing rivers**. Disponível em:

<<https://www.theamazonwewant.org/wp-content/uploads/2022/05/Chapter-30-Bound-May-16.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2025.

DE SÁ, Nathália. **Utilização de resíduos agroindustriais para produção de polímeros, materiais e embalagens**. Repositório Digital UFRGS, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/235736>>

DILUCIA, F. et al. **Sustainable use of fruit and vegetable by-products to enhance food packaging performance**. Foods (Basel, Switzerland), v. 9, n. 7, p. 857, 2020.

FAGUNDES DIAS, R. ARAGÃO DE CARVALHO FILHO, C. A. **Bioeconomy in Brazil and in the World: Current Situation and Prospects**. *Revista Virtual de Química*, v. 9, n. 1, p. 410–430, 2017.

FANG, S. et al. **Effect of sonication on the properties of flaxseed gum films incorporated with carvacrol**. *International journal of molecular sciences*, v. 21, n. 5, p. 1637, 2020.

FERREIRA, B. M. R. et al. **Produção de filmes biodegradáveis a partir de resíduos de frutas e vegetais: uma revisão atualizada**. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 5, p. e54311528544, 2022.

FUNDAJ. **QUAIS SÃO AS CONSEQUÊNCIAS DA SUPEREXPLORAÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS?** Disponível em:

<[https://www.gov.br/fundaj/pt-br/destaques/observa-fundaj-itens/observa-fundaj/revitalizacao-de-bacias/copy\\_of\\_quais-sao-as-consequencias-da-superexploracao-dos-recursos-naturais](https://www.gov.br/fundaj/pt-br/destaques/observa-fundaj-itens/observa-fundaj/revitalizacao-de-bacias/copy_of_quais-sao-as-consequencias-da-superexploracao-dos-recursos-naturais)>.

Acesso em: 29 jun. 2024.

GELFUSO, G. M. et al. **Chitosan microparticles for sustaining the topical delivery of minoxidil sulphate**. *Journal of microencapsulation*, v. 28, n. 7, p. 650–658, 2011.

GONÇALVES, K. G., Duarte, G. S. D., & Tsukamoto Filho, A. A. (2015). **Espécies frutíferas do cerrado e seu potencial para os safes**. *FLOVET: Boletim do Grupo de Pesquisa da Flora, Vegetação e Etnobotânica*, 1(7), 64-79. Disponível em <<http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/flovet/article/view/3111/2153>>

GUILLARD, V. et al. **The next generation of sustainable food packaging to preserve our environment in a circular economy context**. *Frontiers in nutrition*, v. 5, 2018.

GUIMARÃES, R. DE C. A. et al. **Study of the proteins in the defatted flour and protein concentrate of baru nuts (*Dipteryx alata* Vog).** Food Science and Technology, v. 32, n. 3, p. 464–470, 2012.

HUANG, K.; WANG, Y. **Recent applications of regenerated cellulose films and hydrogels in food packaging.** Current opinion in food science, v. 43, p. 7–17, 2022.

ISSA/BBENTO, M. A. **SEMADESC - Secretaria de Meio Ambiente, Desenvolvimento, Ciência, Tecnologia e Inovação.** Disponível em: <<https://www.semagro.ms.gov.br/Geral/sustentabilidade/page/12/>> , Acesso em: 3 nov. 2022.

ISSA/BBENTO, M. A. **FORÇA DO AGRO: MS bate recorde na produção de cana-de-açúcar com 50,5 milhões de toneladas nesta safra.** Disponível em: <<https://www.semadesc.ms.gov.br/forca-do-agro-ms-bate-recorde-na-producao-de-cana-de-acucar-com-505-milhoes-de-toneladas-nesta-safra/><. Acesso em: 9 set. 2024.

JOYE, I. J.; MCCLEMENTS, D. J. **Biopolymer-based nanoparticles and microparticles: Fabrication, characterization, and application.** Current opinion in colloid & interface science, v. 19, n. 5, p. 417–427, 2014.

KARKHANIS, S. S. et al. **Potential of extrusion-blown poly(lactic acid)/cellulose nanocrystals nanocomposite films for improving the shelf-life of a dry food product.** Food packaging and shelf life, v. 29, n. 100689, p. 100689, 2021.

KRAŚNIEWSKA, K.; GALUS, S.; GNIEWOSZ, M. **Biopolymers-Based Materials Containing Silver Nanoparticles as Active Packaging for Food Applications—A Review.** International Journal of Molecular Sciences, v. 21, n. 3, p. 698, 2020.

LANDIM, A. P. M. et al. **Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil**. Polímeros, v. 26, n. spe, p. 82–92, 19 jan. 2016.

LICCIARDELLO, F. Packaging, blessing in disguise. **Review on its diverse contribution to food sustainability**. Trends in food science & technology, v. 65, p. 32–39, 2017.

LAMOSO, L. P. **Spatial productivity and commodity**, Mato Grosso do sul - Brasil. Mercator, v. 17, n. 05, p. 1–13, 2018.

LUZIA, D. M. M. (2012). **Propriedades funcionais de óleos extraídos de sementes de frutos do Cerrado brasileiro** (Tese de doutorado). Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto.

MARTINS, C. C. N. et al. **Uso de biopolímeros no recobrimento de papéis para embalagens alimentícias: uma breve revisão**. Research, Society and Development, v. 11, n. 7, p. e26511729844, 23 mai. 2022.

MARTINS, E. Y. N. H. **APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DO PROCESSAMENTO DA SOJA PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS**. Universidade Federal de Goiás – UFG, 16 jul. 2015.

MEJIAS, R. G. **Bioeconomia e suas aplicações**. ÍANDÉ : Ciências e Humanidades, v. 2, n. 3, p. 105–121, 4 jul. 2019.

MORAIS, A. C. L. DE et al. **Desenvolvimento de filmes biodegradáveis de poli(ácido láctico) e proteína isolada de soja produzidos via extrusão plana**. Rio de Janeiro, v. 27, p. 13, 2022.

MUANGRAT, R.; NUANKHAM, C. **Production of flour film from waste flour during noodle production and its application for preservation of fresh strawberries.** *CyTA - Journal of Food*, v. 16, n. 1, p. 525–536, 2018.

MULÉ, M.; OTONI, C. G.; MARTINS, R. S. **Recent advances in biodegradable packaging: from fundamentals to applications.** *Trends in food science & technology*, v. 61, p. 64–79, 2017.

OLIVEIRA DA SILVA, A. et al. **Development and characterization of biopolymer films based on bocaiuva (*Acromonia aculeata*) flour.** *International journal of biological macromolecules*, v. 155, p. 1157–1168, 2020.

OLIVEIRA FILHO, J. G. DE. **FILMES COMESTÍVEIS BIOATIVOS BASEADOS EM ALGINATO, POLPA DE MANGABA (*Hancornia speciosa*) E *Saccharomyces boulardii*.** INSTITUTO FEDERAL GOIANO, Maio 2022.

OTONI, C. G. et al. **Recent advances on edible films based on fruits and vegetables—A review.** *Comprehensive reviews in food science and food safety*, v. 16, n. 5, p. 1151–1169, 2017.

PENG, Y.; LI, Y. **Combined effects of two kinds of essential oils on physical, mechanical and structural properties of chitosan films.** *Food hydrocolloids*, v. 36, p. 287–293, 2014.

PARASCHIV GANEA, G. I. et al. **Optimizing the value chain of recycling biodegradable and compostable packaging for sustainable development and the circular economy.** *Ovidius" University Annals*, v. 21, n. 2, p. 444–452, 2022.

PESSÔA, P. A. P. ; Soares, J. da P. ; JORGE, N. **Caracterização do óleo extraído por prensagem a frio da polpa de buriti (*Mauritia flexuosa* L.) oriunda do município de Caxias-MA.** V Simpósio de Engenharia e Ciência de Alimentos. São José do Rio Preto, 2016.

PRZYBYSZEWSKA, A. et al. **Packaging of fresh poultry meat with innovative and sustainable ZnO/pectin bionanocomposite films—A contribution to the bio and circular economy.** *Coatings*, v. 13, n. 7, p. 1208, 2023.

PUPO, H. F. F. **Painéis alternativos produzidos a partir de resíduos termoplásticos e da pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth).** Universidade Estadual Paulista – Botucatu, São Paulo, 2012 (Dissertação).

REIS, A. F.; SCHMIELE, M. **Características e potencialidades dos frutos do Cerrado na indústria de alimentos.** *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 22, 2019.

RODRIGUES, C. G. **PRODUÇÃO DE FILMES COMESTÍVEIS BIODEGRADÁVEIS A PARTIR DE BAGAÇO DE MALTE OU SUBPRODUTOS DO PROCESSAMENTO DE MANDIOCA.** MINAS GERAIS: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, 2022.

RONZON, T., 2015. **The bioeconomy in the European Union in numbers - Facts and figures on biomass, turnover and employment.** Disponível em: <[https://joint-research-centre.ec.europa.eu/reports-and-technical-documentation/bioeconomy-european-union-numbers-facts-and-figures-biomass-turnover-and-employment\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/reports-and-technical-documentation/bioeconomy-european-union-numbers-facts-and-figures-biomass-turnover-and-employment_en)>, Acesso em: 5 set. 2024.

SILVA, D. V. et al. **Nutritional quality of the epicarp and mesocarp flours of baru fruits submitted to drying.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental/Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering*, v. 23, n. 1, p. 65–70, 2019.

SANTOMAURO, A. C. **Consumo global de biopolímeros avança - Economia circular.**

Disponível em:

<<https://www.plastico.com.br/consumo-global-de-biopolimeros-avanca-economia-circular/>>

VAZ JUNIOR, S. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais: uma abordagem sustentável.** Brasília, 2020. Disponível em:

<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1126255>>

## 5. APÊNDICE

O presente trabalho trata-se de uma revisão bibliográfica fundamentada, em sua maioria, em artigos científicos publicados. A metodologia envolveu identificação, seleção, avaliação e síntese simultânea de estudos qualitativos, quantitativos e mistos. A princípio a seleção foi feita buscando preferencialmente artigos científicos publicados nos últimos 5 anos, mas ao longo da revisão fez-se necessário o uso de artigos menos recentes, bem como teses e trabalhos de conclusão de curso dentro do tema. Os idiomas escolhidos foram inglês e português, enquanto as plataformas utilizadas para a busca foram o Periódicos Capes e Scielo. Os descritores utilizados deveriam estar contidos no título. Inicialmente, utilizou-se os seguintes descritores: *biodegradable packaging/embalagem biodegradável, bioeconomy/bioeconomia, circular economy/economia circular, commodities e sustainable packaging/embalagem sustentável*. Foram obtidos 12.865 resultados. Em seguida, foram utilizadas as combinações dos termos: *bioeconomy AND circular economy, bioeconomy AND commodities, cerrado/savannah fruits, circular economy AND sustainable packaging*. Obtendo 102 resultados. A partir desta seleção, os artigos foram selecionados novamente com base em seus títulos, obtendo um resultado de 50 artigos. Para a seleção dos títulos, foi realizada uma leitura cuidadosa e identificação da relevância de cada título em relação ao assunto objeto do estudo. Em seguida, para avaliar o conteúdo, realizou-se a leitura dos resumos dos 50 artigos para identificar aqueles que mais se conectaram com o tema e seus aspectos. Dentre esses, 47 foram considerados de maior relevância e selecionados para análise detalhada. Ocasionalmente, os artigos foram lidos e analisados, sendo agregados ao trabalho. Ademais, durante a execução da revisão, foram consultados outros artigos, livros e sites de acordo com a necessidade de complementar as informações.

