



# **Análise da viabilidade tecnológica da obtenção de biopolímeros a partir do açaí para aplicação em embalagens**

Milena Patrícia Martinez de Almeida Pinto

Projeto Final em Engenharia Química

Orientadora:

Erika Christina Ashton Nunes Chrisman, D. Sc.

Agosto de 2022

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TECNOLÓGICA DA OBTENÇÃO DE  
BIOPOLÍMEROS A PARTIR DO AÇAÍ PARA APLICAÇÃO EM EMBALAGENS**

***Milena Patrícia Martínez de Almeida Pinto***

Projeto Final em Engenharia Química submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenharia Química.

Aprovado por:

Prof. Daniel Tinocô Campos Neto, M. Sc.

Prof. Estevão Freire, D. Sc.

Orientado por:

Prof. <sup>a</sup> Erika Christina Ashton Nunes Chrisman, D. Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Agosto de 2022

Ficha Catalográfica

Pinto, Milena Patrícia Martinez de Almeida

Análise da viabilidade tecnológica da obtenção de biopolímeros a partir do açaí para aplicação em embalagens / Milena Patrícia Martinez de Almeida Pinto, Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2022.

xii, 78 p.; il.

(Projeto Final) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2022.

Orientadores: Erika Christina Ashton Nunes Chrisman.

1.Economia circular. 2. Resíduos de açaí 3. Biopolímeros

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço à minha família, especialmente à minha mãe, Kátia, por todo apoio, carinho e motivação dados em toda jornada da graduação, comemorando nos momentos mais felizes e me aconselhou nos períodos mais difíceis e desafiadores. Aos meus avós Lia e Antônio que mesmo já não estando mais presentes, sempre acreditaram no meu potencial.

Ao meu filho Lucas, gostaria de agradecer por alegrar e animar meus dias mesmo naqueles considerados mais complicados e estressantes. Obrigada por ser essa criança sorridente e esperta que me motiva diariamente.

Ao meu namorado, João Pedro, por estar presente nos dias de tristeza e de alegria, me encorajando a buscar o melhor com muito companheirismo.

Agradeço à minha orientadora por todo apoio e conhecimentos passados durante a elaboração do TCC. Foi um prazer imenso tê-la como minha professora e orientadora durante a minha formação na universidade.

Agradeço a todos os professores da minha graduação por estimularem constantemente o conhecimento científico e guiarem o meu aprendizado no decorrer dessa trajetória acadêmica e profissional.

E por fim, aos meus colegas de curso, com quem convivi em todos doze períodos, pela parceria e troca de experiências, que me fizeram evoluir como pessoa mas também como discente.

*Milena Patrícia Martinez de A. Pinto*

Resumo do Projeto Final apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenharia Química.

## **ANÁLISE DA VIABILIDADE TECNOLÓGICA DA OBTENÇÃO DE BIOPOLÍMEROS A PARTIR DO AÇÁO PARA APLICAÇÃO EM EMBALAGENS**

Milena Patrícia Martinez de Almeida Pinto  
Agosto, 2022

Orientador(a): Prof. <sup>a</sup> Erika Chistina Ashton Nunes Chrisman, D. Sc.

A produção de plásticos vêm aumentando expressivamente no decorrer dos anos e tem apresentado criticidade pelo longo tempo de decomposição, resultando em impactos negativos como a poluição do meio ambiente. Em paralelo, a produção de frutos como o açaí tem apresentado destaque comercial significativo no mercado brasileiro gerando uma significativa quantidade de resíduos, como caroços e fibras, com características químicas interessantes, com destaque às atividades antioxidantes, devido a presença de compostos bioativos à base de antocianinas, polifenóis e flavonóides. O aproveitamento desses resíduos ainda demonstra-se incipiente e com poucas aplicações para o ramo energético e de biomassa sendo relatadas. Dentro desse contexto, este trabalho teve como principal propósito a análise tecnológica da aplicação dos resíduos da produção do açaí na formação de embalagens biopoliméricas, incentivando a economia circular com o reaproveitamento eficiente dos materiais e atribuição de valor econômico à indústria de açaí. A metodologia envolveu uma prospecção tecnológica, considerando como faixa temporal os documentos pertencentes ao período de 2002 a 2022, voltada para a compreensão das propriedades do açaí e a identificação das tecnologias de produção dos biopolímeros, com a estruturação de palavras-chaves, criação de mapa mental de conceitos relacionados ao açaí e pesquisas em bases de artigos e patentes. Foi executada uma análise crítica das informações encontradas na literatura visando, ao final, a proposição de um fluxograma produtivo para a obtenção de uma embalagem biodegradável associando um biopolímero de amido ou de PLA e resíduos de açaí. Analisando-se as tecnologias de fabricação dos biopolímeros existentes no mercado atual foram identificados um total de 360 artigos científicos encontrados na base de dados Scopus, bem como 13 patentes concedidas obtidas pela plataforma Patent Inspiration. Por fim, a análise crítica dos dados e o estudo de caso com os biopolímeros de amido e PLA trouxeram a avaliação teórica de particularidades necessárias para uso das tecnologias de produção dos bioplásticos, combinadas às características dos resíduos do açaí, possibilitando a elaboração de um fluxograma para um processo de fabricação de embalagens. Assim, acreditasse que a proposta apresentada neste trabalho trará como vantagens: o estímulo à economia circular, em conjunto ao aumento da competitividade da indústria do açaí e ao estímulo para uso de produtos sustentáveis.

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	Introdução	1
1.1	Motivação	1
1.2	Estrutura do trabalho	3
1.3	Objetivos	4
1.3.1	– Objetivo geral	4
1.3.2	– Objetivos específicos	4
CAPÍTULO 2	Revisão Bibliográfica	5
2.1	Açaí	5
2.1.1	– Características, compostos bioativos e aplicações	5
2.1.2	– Composição química e nutricional	8
2.1.3	– Processo de cultivo e fabricação da polpa	9
2.1.4	– Produção e mercado	11
2.1.5	– Os resíduos do processamento do açaí	15
2.2	Biopolímeros	17
2.2.1	Características e propriedades	17
2.2.2	– Produção e mercado	20
2.2.3	– Principais biopolímeros e aplicações	23
2.3	Embalagens de alimentos	29
2.3.1	– Propriedades	29
2.3.2	– Inovações tecnológicas	31
CAPÍTULO 3	Metodologia	34
3.1	– Prospecção tecnológica	34
3.2	– Análise crítica	38
CAPÍTULO 4	Resultados e Discussões	40
4.1	Prospecção Tecnológica	40

4.3 Análise crítica		53
CAPÍTULO 5	Conclusão	65
CAPÍTULO 6	Sugestões para Trabalhos Futuros	67
CAPÍTULO 7	Referências Bibliográficas	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Cachos de açaí	5
Figura 2	Diagrama de blocos do processo industrial de produção da polpa de açaí	10
Figura 3	Fluxograma do processo industrial do sistema de etapas referentes a lavagem do açaí	11
Figura 4	Evolução da produção nacional do açaí extrativo - período de 2000 a 2019	12
Figura 5	Quantidade produzida para os cinco maiores produtores de açaí no ano-base de 2020	12
Figura 6	Evolução do preço médio do açaí no mercado brasileiro em períodos de 2020 e 2021	13
Figura 7	Os maiores importadores do açaí paraense no período de 2016 a 2020	14
Figura 8	Os maiores destinos da exportação do açaí paraense no período de 2016 a 2020	14
Figura 9	Evolução do peso e do valor exportado do açaí entre o período de 2010 a 2020	15
Figura 10	Ciclo de vida da biomassa no meio ambiente	18
Figura 11	Representação esquemática da classificação dos biopolímeros	20
Figura 12	Capacidade global de produção dos bioplásticos ao longo dos anos 2020 a 2026 – previsão	21
Figura 13	Capacidade global de produção dos biopolímeros em 2021 por segmento de mercado	22
Figura 14	Estrutura química da amilose (a) e da amilopectina (b)	24
Figura 15	Estrutura química da celulose	25
Figura 16	Estrutura química do poli(ácido láctico)	27
Figura 17	Estrutura química da policaprolactona (PCL)	28
Figura 18	Layout da tela de pesquisa do banco de dados Scopus	34
Figura 19	Dashboard de buscas da plataforma Patent Inspiration	35



Figura 20	Mapa mental dos termos relacionados à palavra açai	40
Figura 21	Resultados encontrados para a quinta estratégia de busca na plataforma Scopus	41
Figura 22	Distribuição de artigos por área do conhecimento a partir da estratégia de busca número 1 na Plataforma Scopus	42
Figura 23	Distribuição de artigos por ano dentro do período analisado a partir da estratégia de busca número 1 na Plataforma Scopus	43
Figura 24	Relação de patentes concedidas por empresas no período de 2002 a 2022	47
Figura 25	Evolução temporal da publicação de artigos científicos na plataforma Scopus - período 2002 a 2022	49
Figura 26	País de origem dos autores principais dos artigos encontrados entre 2002 a 2022 que seguem a temática deste estudo	50
Figura 27	Evolução temporal das patentes concedidas no período de janeiro/2002 a janeiro/2022	51
Figura 28	País de origem dos autores principais dos artigos encontrados entre 2002 a 2022 que seguem a temática deste estudo	52
Figura 29	Empresas detentoras das patentes concedidas entre 2002 e 2022 na temática do estudo	53
Figura 30	Cromatograma da técnica cromatográfica do UV Visível do extrato liofilizado do açai, mostrando o perfil qualitativo e quantitativo das antocianinas	56
Figura 31	Comportamento da temperatura de transição vítrea (Tg) do amido com a variação de água e glicerol	60
Figura 32	Fluxograma do processo proposto para a produção das embalagens biodegradáveis	63

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1	Percentual global de produção por região mundial em 2021	22
Tabela 2	Estratégias de busca de artigos realizadas na plataforma Scopus	35
Tabela 3	Estratégias de busca de patentes realizadas na plataforma Patent Inspiration	36
Tabela 4	Estratégias de busca de artigos realizadas na plataforma Scopus	41
Tabela 5	Estratégias de busca de patentes realizadas na plataforma Patent Inspiration.	45
Tabela 6	Processos de produção de alguns biopolímeros na literatura	57

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- ABICOM – Associação Brasileira de Biopolímeros Compostáveis e Compostagem
- ABIPLAST – Associação Brasileira da Indústria do Plástico
- ABRE – Associação Brasileira de Embalagem
- ASTM – Sociedade Americana de Testes e Materiais (*American Society for Testing and Materials*)
- BHA – 2,3-terc-butil-4-hidroxianisol
- BHT – 2,6-diterc-butil-p-creso
- CNC – Nanocristais de celulose
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento
- CPC – Classificação de Cooperação de Patentes (*Cooperative Patent Classification*)
- DOCDB – Banco de Dados Documental (*Documentation Database*)
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- EPO – Organização de Patente Europeia (*European Patent Office*)
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INPI – Instituto Nacional da Propriedade Industrial
- IPC – Classificação Internacional de Patentes (*International Patent Classification*)
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
- ISO – Organização Internacional de Padronização (*International Organization for Standardization*)
- IUPAC – União Internacional de Química Pura e Aplicada (*International Union of Pure and Applied Chemistry*)
- MAE – Extração Assistida por Microondas (*Microwave Assisted Extraction*)
- OPC – Coeficientes de Permeabilidade ao Oxigênio (*Oxygen Permeability Coefficients*)
- ORAC – Capacidade de absorção de radicais de oxigênio (*Oxygen Radical Absorbance Capacity*)
- OTR – Taxa de transmissão de oxigênio (*Oxygen Transmission Rate*)
- PAM – Produção Agrícola Municipal
- PBAT – Poli(butileno adipato-co-tereftalato)
- PBS – Polibutileno Succinato
- PCL – Policaprolactona

PET – Polietileno Tereftalato

PEVS – Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura

PFE – Polietileno Furanoato

PHA's – Polihidroxialcanoatos

PHB's – Polihidroxibutiratos

PHVB – Poli 3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato

PLA – Políácido Láctico

PP – Polipropileno

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PS – Poliestireno

PVC – Policloreto de Vinila

SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática

TTI – Indicador de temperatura de tempo (*Time Temperature Indicator*)

USP – Universidade de São Paulo

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

# Capítulo 1 Introdução

## 1.1 Motivação

As embalagens de alimentos podem ser constituídas por materiais como madeira, metal, vidro, papel e plástico. Dentre esses materiais, o plástico apresenta atributos como flexibilidade, leveza e possibilidade de combinação com papel, alumínio e outros plásticos, se destacando no setor de embalagens (Jorge, 2013). Segundo dados da Associação Comercial Internacional Plastics Europe, no período de 2019 a 2021, foram produzidos em escala mundial, cerca de 365 milhões de toneladas de plásticos por ano, que podem impactar negativamente o Meio Ambiente, pois demoram tempo para se degradarem, promovem o aumento do lixo, gerando consequências danosas relativas a poluição ambiental do solo, dos recursos hídricos e do ar.

No mercado brasileiro a relevância do plástico pode ser reforçada pela sua maior participação no valor da produção com percentual de 37,1%, sendo seguido pelo metal e papelão (ABRE, 2021). Como o plástico é o principal material que vêm sendo utilizado na fabricação de embalagens, o reflexo disso é a elevada produção mundial dessa classe de materiais, que alcançou valor de 9,2 bilhões de toneladas entre os anos de 1950 e 2017 (ZAMORA *et al.*, 2020)

Assim, neste ramo de atuação, o conceito de economia circular torna-se cada vez mais importante, visando o reaproveitamento dos recursos naturais em novos segmentos produtivos, integrando a indústria, a economia e a sociedade (IPEA, 2021), bem como o conceito de bioeconomia, cujo propósito consiste em mesclar inovação e biodiversidade para a obtenção de novos processos. A bioeconomia compreende a transformação industrial de recursos naturais em materiais que servem como insumos em segmentos industriais como os de alimentos, fármacos, cosméticos e bioenergia, seguindo uma filosofia sustentável (SATIE; CARVALHO; ROEDER, 2021).

No Brasil, como uma forma de garantir um uso racional dos materiais, frear a poluição ambiental e a contaminação dos recursos naturais, foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) pela Lei nº 12.305/10, que fornece as diretrizes à sustentabilidade, com orientações acerca da destinação e administração correta dos resíduos sólidos (IBAMA, 2022).

Muitas agroindústrias produzem materiais que geram resíduos sólidos durante o processamento de seus produtos (EMBRAPA, 2005). Embora existam outras frutas como o abacate e a manga, que também geram resíduos significativos como caroços e bagaços, neste trabalho houve o interesse em se estudar o açaí por ser um fruto característico do mercado brasileiro que apresenta propriedades antioxidantes relevantes que poderiam agregar valor a ideia de geração de embalagens inteligentes.

No caso específico da indústria do açaí, produto florestal não madeireiro, o processamento é responsável pela disponibilização da polpa que serve de insumo na fabricação de bebidas, sorvetes, suplementos alimentares, loções hidratantes, cremes capilares, shampoos, rações animais, nutracêuticos, entre outros materiais comercializados, principalmente, pelos segmentos de alimentos, cosméticos e indústria farmacêutica. Além desse constituinte principal extraído, esta indústria gera frações sólidas como os caroços, cascas e fibras, que representam 85% da massa do fruto e precisam ter uma destinação mais adequada (MONTEIRO *et al.*, 2019).

Com a crescente demanda do mercado por produtos formulados à base de açaí, a cadeia produtiva tem se intensificado e, conseqüentemente, a geração de resíduos agroindustriais gerados por esse fruto também tem aumentado. Com isso, a falta de soluções viáveis de reaproveitamento eficiente desses resíduos torna-se uma preocupação de cunho ambiental, social e até mesmo econômico por causa de fatores como: a destinação inadequada em lixões ambientais e a perda de grande funcionalidade do caroço do açaí (MONTEIRO; COSTA; PINHEIRO, 2017).

Sendo assim, estudos voltados ao aproveitamento dos resíduos originários pelo processamento do açaí tornam-se necessários para disponibilizar alternativas efetivas e produtivas para a aplicação mais eficaz desses subprodutos, podendo gerar materiais mais competitivos e de atrativo valor econômico, bem como pode promover uma redução dos impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade.

Os caroços de açaí, assim como a polpa, apresentam funcionalidades antioxidantes e antimicrobianas, sendo constituídas por compostos químicos ativos interessantes, dentre os quais, 55% a 70% de carboidratos, 16% a 19% de lignina, 10% a 16% de extratos ricos em polifenóis, próximo a 5% de proteínas, 1% de cinzas e cerca de 1% de lipídios (ROMANI *et al.*, 2021). Na região ao redor dos caroços encontram-se as fibras lignocelulósicas, que se destacam pela estabilidade térmica,

bem como propriedades mecânicas equivalentes às demais fibras naturais (BRAGA *et al.*, 2021).

As propriedades antioxidantes desse fruto demonstram-se importantes, inclusive na indústria de alimentos, onde possuem a função de preservar as características físico-químicas e sensoriais dos produtos perecíveis, aumentando o *shelf life* e garantindo a estabilidade microbiológica (ROMANI *et al.*, 2022).

Uma opção interessante para o uso dos caroços e fibras do açaí pode ser as embalagens de alimentos, pois normalmente são feitas levando-se em conta atributos de proteção à degradação físico-química, oxidativa e microbiológica do item perecível. As embalagens são também importantes pois suas características visuais e propriedades de barreira ao calor e umidade são pensadas estrategicamente de modo a garantir a funcionalidade bem como sua forma física e *layout* aumentam o estímulo na compra dos produtos por parte dos consumidores.

Quanto à funcionalidade, para garantir a vida útil dos produtos perecíveis, a ideia de utilização de antioxidantes naturais em substituição aos aditivos químicos, conservantes e estabilizantes de origem sintética constituídos por hidroxianisol butilado (BHA) e hidroxitolueno butilado (BHT) demonstra-se vantajosa por causa da redução dos efeitos tóxicos bioacumulativos e cancerígenos no organismo (RODRIGUES *et al.*, 2006).

Portanto, a hipótese de reaproveitamento dos extratos sólidos da indústria de açaí, combinada aos biopolímeros para a formação de embalagens biodegradáveis, pode contribuir ativamente para a minimização dos danos à natureza e utilização eficiente dos recursos naturais, possibilitando agregação de valor econômico à cadeia produtiva dessa fruta muito encontrada no território brasileiro.

## **1.2 Estrutura do trabalho**

O presente trabalho foi organizado em seis capítulos e a estrutura de cada um deles está detalhada a seguir. O capítulo I traz uma resumida contextualização do tema abordado, mostrando a importância para a sociedade e a motivação para a escolha de tal temática, direcionando à hipótese a ser testada descrita nos objetivos. No capítulo II, encontra-se o embasamento e fundamentos teóricos utilizados na elaboração do trabalho com o intuito de ampliar os conhecimentos acerca da temática

escolhida. Na sequência, o capítulo III traz a metodologia utilizada com a descrição da estratégia de busca nas bases de artigos e patentes bem como a metodologia de tratamento dos dados obtidos pelas pesquisas. No capítulo IV os resultados alcançados são apresentados, comparados e interpretados. E, por fim, o capítulo V contém a conclusão sobre os resultados com comentários finais sobre os conhecimentos adquiridos e propostas de melhorias para os próximos trabalhos.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo geral**

Este trabalho tem como objetivo geral a avaliação tecnológica da obtenção de biopolímeros constituídos por resíduos do processamento do açaí para produção de embalagens alimentícias.

### **4.2 Objetivos específicos**

Com o intuito de alcançar o objetivo principal, este trabalho foi estruturado em objetivos específicos detalhados abaixo.

1) Analisar os resultados de um estudo bibliográfico em bases de artigos e patentes para aquisição de conhecimentos sobre as propriedades do açaí e mapear as suas propriedades físicas e mecânicas.

2) Avaliar as propriedades mínimas para garantir o desempenho de uma embalagem utilizada no mercado de alimentos, a fim de assegurar a segurança alimentar.

3) Propor uma rota tecnológica para obtenção da embalagem constituída pelo filme de biopolímero formulado a partir dos resíduos da cadeia produtiva do açaí, considerando as informações bibliográficas acerca das propriedades físicas e químicas de formação do filme biodegradável, assim como do processo de transformação.



## Capítulo 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 Açaí

#### 2.1.1 Características, compostos bioativos e aplicações

O açaí é obtido a partir do açazeiro, o qual consiste em uma palmeira multicaule capaz de alcançar 30 metros de altura pertencente à família *Arecaceae* e ao gênero *Euterpe* amplamente encontrada na região norte do Brasil e de importância cultural, econômica e nutricional (Figura 1). Esse fruto apresenta tamanho pequeno, formato redondo (diâmetro entre 1 cm e 2 cm) e contém internamente uma única semente de coloração castanho claro, que corresponde a 85% da massa total (RODRIGUES *et al.*, 2006).



Figura 1: cachos de açaí (Fonte: Embrapa, 2017).

Embora existam variações de açaí denominadas de “açaí branco” e “açaí amarelo” que possuem após o amadurecimento, respectivamente, as colorações branca e amarela, o açaí de coloração roxa é o mais conhecido comercialmente (RODRIGUES *et al.*, 2006). Essa linhagem de açaí apresenta coloração que varia do verde ao roxo escuro durante o processo de amadurecimento, além de ser revestido por uma região fibrosa adjacente a uma fina camada comestível (OLIVEIRA; NETO; PENA, 2007).

Quanto aos aspectos botânicos, o gênero botânico *Euterpe* possui uma variação de 28 espécies, sendo que as mais conhecidas comercialmente no Brasil são *E. Oleracea* e *E. Precatoria*. A espécie *E. Oleracea* também denominado de “açai-do-Pará é principalmente encontrado na região norte e no Amazonas enquanto que a *E. Oleracea* ou conhecido por “açai-de-terra firme” possuem menos predominância e sua localização é mais restrita às regiões central e oeste do Amazonas (PACHECO-PALENCIA; DUNCAN; TALCOTT, 2009).

As frações do mesocarpo e epicarpo formam a parte comestível do açai, enquanto que a porção do endocarpo contém o caroço e uma película fibrosa que reveste essa estrutura sólida (OLIVEIRA; NETO; PENA, 2007).

Os frutos de açai possuem destaque no segmento de suplementos e bebidas energéticas e são classificados como alimentos funcionais devido ao alto valor nutricional com quantitativos calóricos e energéticos iguais a 262 kcal/100g e 80 kcal/100g, respectivamente (OLIVEIRA; NETO; PENA, 2007).

A presença de altos teores de fibras alimentares, minerais e ácidos graxos é um outro aspecto que contribui para a aplicabilidade nas indústrias de alimentos, bem como a utilização como material para a elaboração de cosméticos e fármacos. Em adição a isso, pode-se mencionar a existência de substâncias que conferem propriedades antioxidantes, dentre as quais, os compostos polifenólicos, flavonóides, antocianinas e ácidos fenólicos (PACHECO-PALENCIA; DUNCAN; TALCOTT, 2009).

Os compostos fenólicos conferem atividades antioxidantes, pois ajudam a barrar o processo oxidativo e inibir a formação de radicais livres, refletindo na saúde e bem-estar com a prevenção contra doenças degenerativas, como câncer além de enfermidades inflamatórias e cardiovasculares (POMPEU; SILVA; ROGEZ, 2009). Neste grupo de fitoquímicos encontram-se substâncias como antocianinas, flavonoides e ácidos fenólicos.

Dessas substâncias mencionadas, as antocianinas correspondem às colorações características encontradas no açai e são as mais expressivas pois estão presentes em 90% do conteúdo polifenólico total (PACHECO-PALENCIA; DUNCAN; TALCOTT, 2009). As antocianinas correspondem a um importante grupo de pigmentos atóxicos solúveis em água e encontrados nas flores, vegetais e frutas na forma de cores

intensas que variam do vermelho ao azul e violeta. Apesar de possuir função antioxidante, esse grupo de corantes naturais tem alta reatividade e fragilidade na estabilidade aos fatores como pH, temperatura, luz e presença de enzimas, açúcares, metais e cofatores fenólicos (PACHECO-PALENCIA; TALCOTT, 2010). No açaí, particularmente, as maiores concentrações de antocianinas são provenientes dos compostos cianidina-3-rutinosídeo e cianidina-3-glicosídeo, sendo também identificados teores minoritários de 3-O-rutinosil-cianidina, pelargonidina-3-glicosídeo, peonidina-3-glicosídeo, cianidina-3-sambubiosídeo e peonidina-3-rutinosídeo (DIAS *et al.*, 2012).

Os flavonóides compreendem um grupo de compostos da classe de metabólitos secundários dos polifenóis. Os estudos efetuados por Heinrich *et. al* (2012, p.13) demonstraram a importância dessas substâncias para a função antioxidante do açaí. Na composição química do açaí, os flavonóides em maior concentração são a quercetina, a orientina e seus derivados, bem como taninos condensados denominados como proantocianidinas.

Os compostos polifenólicos junto com as antocianinas e os flavonoides correspondem às substâncias bioativas responsáveis pela função antioxidante do açaí. Além das propriedades antioxidantes, essa classe de fitoquímicos também possui atividade antimicrobiana (SUCUPIRA *et al.*, 2014).

De acordo com Yamaguchi, *et. al* (2015, p. 141), os polifenóis apresentam benefícios para a saúde humana por causa da capacidade na prevenção e supressão das espécies químicas reativas de oxigênio e nitrogênio. Essa forma de inibição contra os radicais responsáveis por desencadear mutações genéticas e instabilidades genômicas fazem com que os polifenóis sejam denominados agentes quimiopreventivos.

Os percentuais de compostos polifenólicos, flavonóides, antocianinas e ácidos fenólicos nas polpas de açaí são mensurados por meio de procedimentos experimentais que englobam operações unitárias de extração associadas à utilização de reagentes químicos específicos em análises espectrofotométricas e espectroscopia de absorção UV-Visível. Assim, para a quantificação das concentrações totais de polifenóis e antocianinas, o trabalho desenvolvido por Rabelo

*et. al.*, (2018, p. 543-544) englobou experimentos denominados Folin-Ciocalteu, Cromatografia Líquida de Alta Eficiência e pH diferencial.

### **2.1.2 Composição química e nutricional**

A composição química do açaí contém macronutrientes como lipídios, proteínas, carboidratos, minerais e vitaminas, com alto valor energético atrelado à alta concentração de lipídios e amino ácidos (ROGEZ, 2000). Ademais, em relação ao teor de carboidratos, que representa a fonte primária de energia, é baixo (OLIVEIRA; NETO; PENA, 2007).

A quantificação dos teores de nutrientes, conforme descrito no estudo de Menezes *et. al* (2008), pode ser obtida por meio de técnicas analíticas e ensaios de referência recomendados pela Organização Internacional de Normalização (ISO) e pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC), seguindo condições físicas padronizadas para as variáveis como temperatura, pH e teor de umidade da amostra.

Uma dessas metodologias experimentais, citadas por Menezes *et al.* (2008), refere-se a avaliação das proteínas a partir do método de Kjeldahl, que compreende a determinação da matéria nitrogenada em amostras orgânicas em um meio acidificado com ácido sulfúrico.

Segundo Yamaguchi *et al* (2015) os principais constituintes encontrados na polpa de açaí são os lipídios, fibras e proteínas com percentuais, respectivamente, iguais a 50%, 25% e 10% em base seca. Sendo que as proteínas possuem papel crucial em reforçar as propriedades funcionais do açaí na alimentação. Tal importância se deve à concentração de 12,6 gramas de proteína em um litro de açaí, o que equivale a um percentual de 25% a 30% da quantidade recomendada diariamente.

Apesar disso, a composição química e nutricional do açaí ainda apresenta resultados divergentes dependendo das fontes de estudo. De acordo com Costa *et. al* (2018, p. 110), tal discordância pode estar relacionada aos aspectos como: nível de amadurecimento, clima, colheita e condições de processamento e, até mesmo, a técnica analítica utilizada na avaliação quantitativa das amostras da polpa de açaí.

Segundo Barbosa & Junior (2021), o teor de lipídios presente no açaí destaca-se pela presença majoritária de ácidos graxos monoinsaturados e poli insaturados, que juntos totalizam 60% da composição nutricional do fruto. A exploração em larga escala do óleo do açaí é um pouco dificultada devido ao baixo rendimento obtido pelo processo de extração a frio, que é a principal metodologia empregada para obtenção do óleo, que é aplicado comercialmente em cosméticos e produtos de higiene pessoal.

### **2.1.3 Processo de cultivo e fabricação da polpa**

A produção do açaí apresenta quantitativo mais expressivo em alguns meses do ano, em virtude da sazonalidade de seu cultivo, principalmente no período entre Julho até Dezembro, que corresponde ao período ideal de colheita (ROGEZ, 2000; DEL POZO-INSFRAN; BRENES; TALCOTT, 2004). O cultivo de açaí depende de condições como clima, tipo de solo, área de plantio, adubação e controle de plantas invasoras e das pragas (EMBRAPA, 2005).

O beneficiamento do açaí para transformá-lo em polpa segue regras sanitárias bem definidas, com o intuito de evitar contaminação e deterioração do produto, tendo em vista que fatores, como a precária sanitização do meio produtivo e a perecibilidade, podem comprometer a qualidade e a segurança alimentar (EMBRAPA, 2007).

A facilidade de degradação e a perecibilidade do açaí, dentro de um período de 12 horas, faz com que seja necessário uma técnica de conservação que proporcione um tempo de durabilidade mais prolongado. No entanto, o congelamento dos frutos pode possibilitar a perda de vitaminas, alterações nas propriedades reológicas e na cor (MENEZES; TORRES; SABAA SRUR, 2008). Essas modificações e o processo de deterioração estão relacionadas às reações enzimáticas e ao crescimento de microrganismos.

Na metodologia de produção da polpa de açaí, inicialmente, os frutos são recebidos na unidade de beneficiamento e passam por um processo de seleção, na qual ocorre a retirada dos rejeitos grosseiros como folhas, frutos chocos e fragmentos de ráquilas, sendo utilizado, para isso, um separador rotativo. Na sequência, os frutos passam por um sistema de lavagem que possui quatro tanques em série. No primeiro sistema de lavagem, o açaí é imerso em um tanque com água para remoção de detritos de terra ou sujidades presentes na superfície da casca. No segundo ocorre

nova imersão em água, só que com as variáveis, temperatura da água e tempo de imersão, alteradas a fim de promover o amolecimento do fruto e facilitar o despulpamento. Nessa última atividade, os parâmetros de temperatura variam entre temperatura ambiente até 60°C, enquanto o tempo pode ser ajustado para valores entre 10 a 60 minutos, dependendo do grau de amadurecimento da amostra de açaí. Posteriormente, no terceiro tanque, o fruto passa por uma solução aquosa contendo hipoclorito de sódio, por um período entre 20 a 40 minutos, com a finalidade de sanitizar a amostra e eliminar microrganismos que possam estar presentes. Na quarta fase de lavagem, o açaí é colocado em água potável para retirar o excesso da solução química aplicada anteriormente. Após o sistema de lavagem, inicia-se o despulpamento com o auxílio da adição de água e retirada de resíduos indesejáveis à produção, dentre os quais, caroços e fibras. A partir dessa separação, a fração da polpa é alimentada a um tanque de homogeneização para ficar com o aspecto físico mais uniforme. Por fim, o produto pode ser embalado e congelado ou passar pelo tratamento térmico de pasteurização em equipamentos denominados pasteurizadores tubulares, a fim de minimizar a presença de agentes patógenos contaminantes para níveis seguros (FERREIRA *et al.*, 2020). A Figura 1 demonstra o diagrama de blocos desse processo e a Figura 2 demonstra o fluxograma do sistema de lavagem com os quatro estágios e as correntes de entrada e saída de cada um deles.

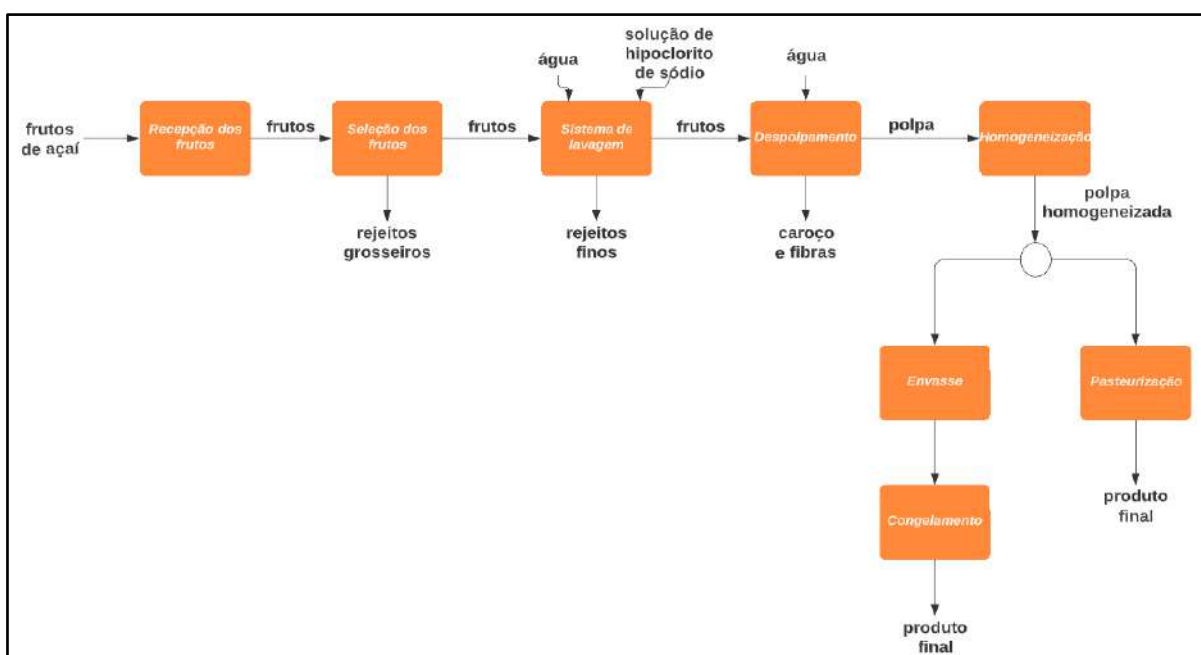


Figura 2 – Diagrama de blocos do processo industrial de produção da polpa de açaí (Fonte: Elaboração própria, adaptado de Ferreira *et al.*, 2020).

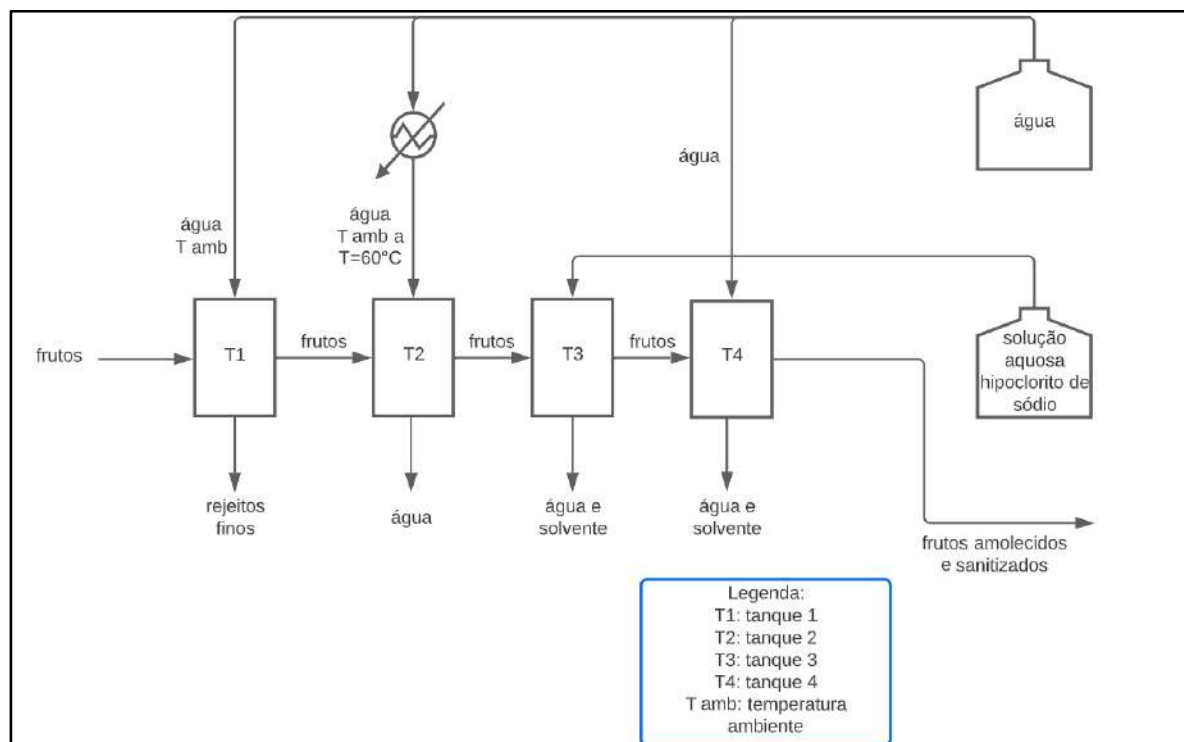


Figura 3 – Fluxograma do processo industrial do sistema de etapas referentes a lavagem do açaí (Fonte: Elaboração própria, adaptado de Ferreira *et al*, 2020).

A fase do processo de separação das frações do açaí, também reconhecido como despulpagem, colabora para a produção de resíduos sólidos, primeiro com os caroços, de forma mais expressiva, e na sequência, com as fibras e com os lotes de polpa não aprovados nas análises de segurança e qualidade, que também acabam sendo descartados (BURATTO *et al.*, 2021).

Atualmente alternativas baseadas na maximização da conservação eficiente do açaí têm sido utilizadas, para que os produtos derivados não percam valor de mercado, como a liofilização, garantindo a manutenção das características físico-químicas, ácidos graxos e propriedades biológicas.

#### 2.1.4 Produção e mercado

A importância econômica do açaí no mercado brasileiro é confirmada pelos números crescentes da produção nacional, alcançando valores em torno de 1,5 milhões de toneladas para o ano de 2020 (SIDRA, IBGE). O aumento da produção foi possível devido ao aumento de áreas cultivadas, das áreas manejadas, de áreas extrativas em conjunto com a utilização de técnicas de manejo mais modernas que favorecem a elevação da produtividade.

Na Figura 4, podem ser visualizados os dados da produção nacional do açaí extrativo com informações da quantidade e do preço comercializado. De acordo com o IBGE, o aumento significativo na produção a partir de 2014 ocorreu devido à base de dados ter começado a receber dados do manejo e do plantio a partir desse ano.

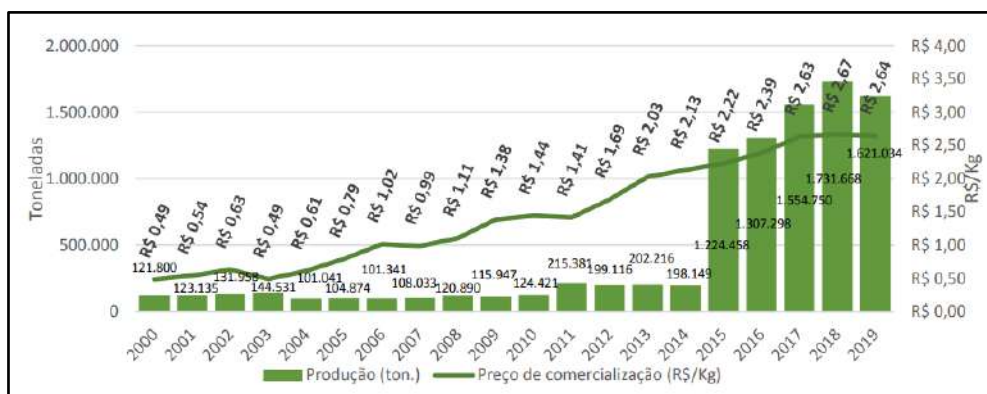


Figura 4 – Evolução da produção nacional do açaí extrativo – período de 2000 a 2019 (Fonte: IBGE/PAM e PEVS).

Quanto à realidade particular da produção por Estado, o Pará (PA) destaca-se como maior produtor, alcançando um total de 212.479 toneladas em 2020, conforme mostrado na Figura 5, a seguir. Na sequência, o estado do Amazonas (AM) ocupa o segundo lugar com 5.309 toneladas no referido período, valor muito inferior ao do Pará.

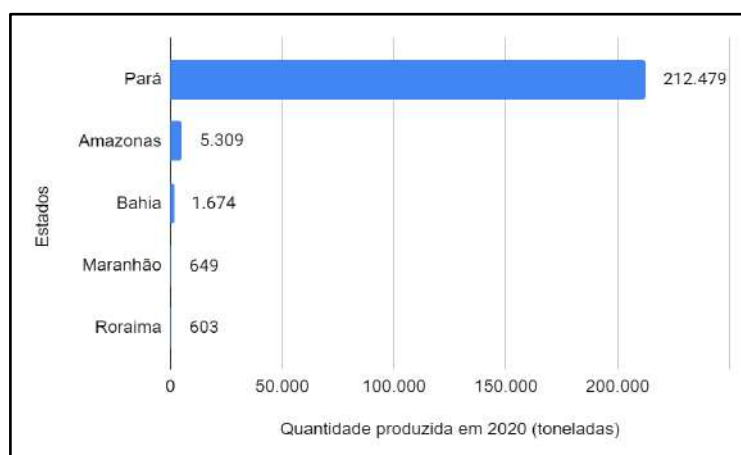


Figura 5 – Quantidade produzida para os cinco maiores produtores de açaí no ano-base de 2020 (Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Sidra, 2020).

No cenário econômico brasileiro em 2020 e 2021, o preço médio do açaí, que representa a média dos valores de compra e venda em relação às quantidades



comercializadas, apresentou comportamento oscilatório intenso em algumas regiões produtoras como Amapá (AP) e Pará (PA). Tal variação no índice de preço pode ser influenciada pela alta dos preços nos meses do primeiro semestre devido à sazonalidade, ou seja, por variações na oferta em períodos de safra e entressafra, conforme pode ser visualizado na Figura 6.

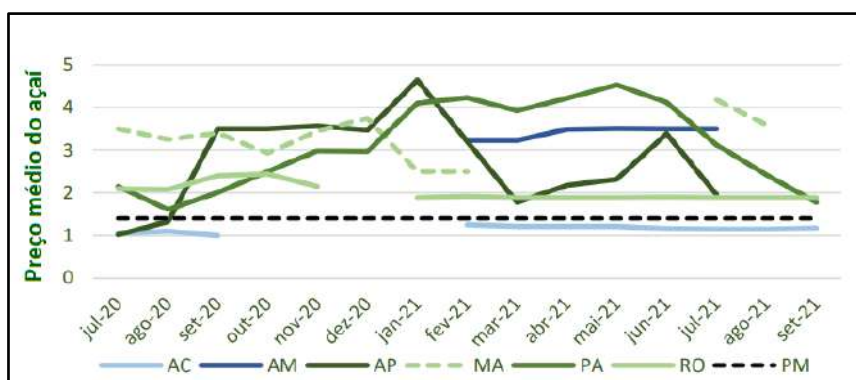


Figura 6 – Evolução do preço médio do açaí no mercado brasileiro em períodos de 2020 e 2021 (Fonte: Conab, 2021).

No que tange à demanda interna do açaí, os Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais são os principais territórios consumidores fora da região Norte. No segmento alimentício, essas regiões comercializam derivados da polpa do açaí congelado, enquanto que nos Estados produtores é consumível na forma “*in natura*”.

Quanto à exportação, o açaí cultivado em território brasileiro vem ganhando destaque em nível internacional em vários países do mundo. De acordo com dados de importação do açaí paraense (Figuras 7 e 8) constantes no relatório da sociobiodiversidade elaborado pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), observa-se que, no período entre os anos de 2016 a 2020, os Estados Unidos é o maior importador, sendo responsável por 66% da aquisição de todo o açaí exportado. O mercado norte-americano além de ser grande em capacidade de consumo também é um grande comprador de matéria prima para processamento, sendo o país um grande exportador de produtos processados a base de açaí.

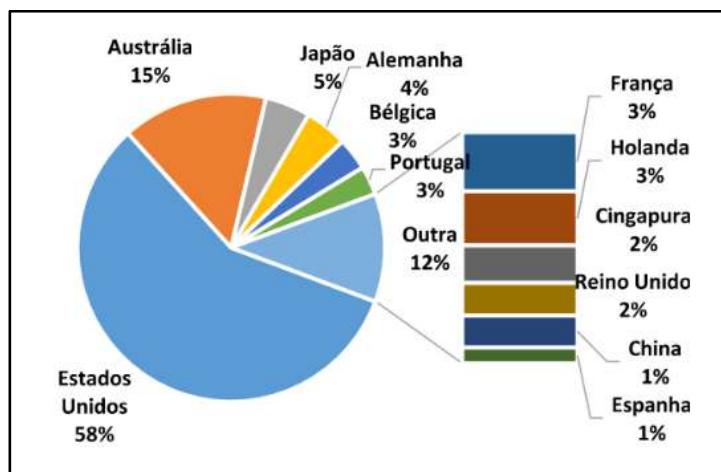


Figura 7 – Os maiores importadores do açá paraense no período de 2016 a 2020 (Fonte: Conab, 2021).

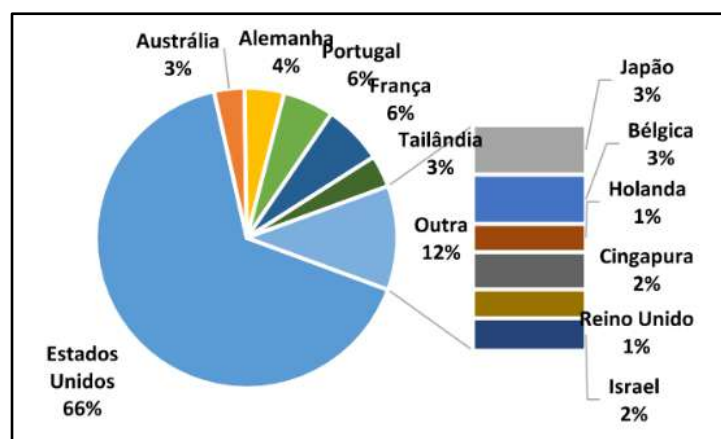


Figura 8 – Os maiores destinos da exportação do açá paraense no período de 2016 a 2020 (Fonte: Conab, 2021).

Os produtos derivados do açá, dentre os quais, cosméticos, *snacks* alimentícios e *shakes* energéticos, têm ganhado a atenção do mercado internacional, sendo consumidos por pessoas que buscam se beneficiar das propriedades funcionais do açá. A partir da Figura 9 pode-se visualizar o crescimento das exportações no decorrer do período analisado e o alcance de pesos e valores bem expressivos em 2019. Tal representação gráfica demonstra uma correlação proporcional entre crescimento da quantidade exportada com aumento dos valores auferidos com a exportação.

Como demonstrado no gráfico representado pela Figura 9, a queda ocorrida em 2020 teve como principal motivo a pandemia COVID-19. Tal cenário mundial

repercutiu na dificuldade de escoamento dos estoques de mercadorias com o fechamento dos comércios e medidas restritivas internacionais.

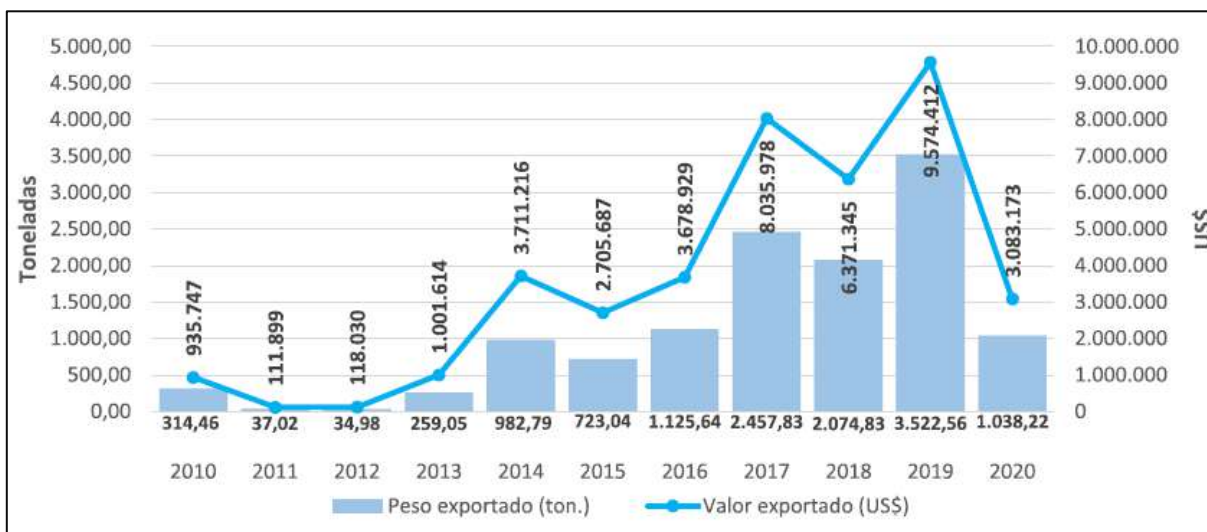


Figura 9 – Evolução do peso e do valor exportado do açaí entre o período de 2010 a 2020 (Conab, 2020).

### 2.1.5. Os resíduos do processamento do açaí

O processo de obtenção da polpa de açaí, especialmente na etapa de despulpamento, contribui para a geração de frações de caroços e fibras lignocelulósicas. No Pará e no Amazonas, a expressiva produção e consumo do açaí contribui para o acúmulo correspondente a 300 toneladas de resíduos por dia que, em sua grande maioria, são destinados incorretamente ao meio ambiente (ROGEZ, 2000).

Os caroços representam um total de 85% da massa do açaí e neles estão contidos fibras insolúveis como hemicelulose e celulose, além de proteínas, minerais e lipídios (RODRIGUES *et al.*, 2006).

O caroço (semente) do açaí apresenta coloração marrom clara e destaca-se por sua biofuncionalidade devido às propriedades antioxidantes, assim como, capacidade antimicrobiana. Esse relevante desempenho está relacionado a sua composição química composta significativamente por carboidratos, os quais representam um teor de 55% a 70%. Além disso, outros compostos encontrados são a hemicelulose, a lignina, os polifenóis, as cinzas, as proteínas e os lipídios (RODRIGUES *et al.*, 2006).

De acordo com a NBR 10004/1987 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, o caroço do açaí é um resíduo sólido comercial proveniente das atividades de processamento do fruto integral. Em virtude do acúmulo desse resíduo, estudos vêm sendo realizados para o reaproveitamento deles em aplicações como a produção de energia e na produção de materiais da construção civil (RODRIGUES *et al.*, 2006).

A atividade antioxidante identificada neste material é um atributo vantajoso que vem sendo bastante explorada em estudos científicos (ESPITIA *et al.*, 2014; SCHAUSS *et al.*, 2006; PESSANHA *et al.*, 2018). Rodrigues *et al.* (2006), em sua pesquisa avaliou o efeito da inibição de espécies reativas de oxigênio (radicais peroxila, peroxinitrito e radicais hidroxila) e buscou identificar os principais compostos polifenólicos responsáveis por esse desempenho.

Os estudos de identificação da constituição química dos resíduos sólidos auxiliam na prospecção de potenciais aplicações, seja na descoberta de matérias-primas na produção de novos produtos, bem como recursos energéticos. Entretanto, no contexto atual de produção, a destinação em aterros sanitários vem sendo bastante utilizada. A reutilização dessas frações ocorre de modo escasso em formulações de fertilizantes orgânicos, na produção de briquetes, com função de substituição energética a lenha e ao carvão, ou como item de artesanato (CASTRO; DIAS; FARIA, 2010).

Na temática de recuperação dessas frações sólidas provenientes do despulpamento do açaí, estudos realizados por Inácio *et al.* (2013, p.76) analisaram a viabilidade econômica dos caroços em usinas termelétricas para a geração de energia. Outra iniciativa, também voltada ao segmento energético, foi investigada por Itai *et al.* (2014, p. 662), cujo foco consistiu no reuso das sementes de açaí em unidades de gaseificação.

A composição química das sementes e fibras abrange as concentrações de proteínas e fibras que variam entre as diferentes espécies de açaí (YAMAGUCHI *et al.*, 2015). Além disso, depende das condições de amadurecimento, da sazonalidade do cultivo e da qualidade do fruto. Portanto, teores variáveis entre diferentes amostras de açaí mostram-se frequentes em diferentes trabalhos encontrados na literatura científica (YAMAGUCHI *et al.*, 2015; LEIDIANY, 2016).

Apesar de variações no percentual dos componentes constituintes dos caroços de açaí, a celulose é a substância mais predominante com teores entre 34% e 53%. Na sequência, essa matéria biomássica possui faixas de concentrações de 3%-25% e 6%-18%, nesta ordem, para a lignina e hemicelulose. Alguns estudos como em Ferreira *et. al* (2016) e Pessanha *et. al* (2018) mencionam a presença de lipídios só que em quantidades muito baixas. Em adição aos usos potenciais direcionados à vertente térmica, De Lima *et al.* (2021) apresentou alternativa de produção de açúcares fermentáveis com altos teores de manose mediante a submissão dos caroços e fibras do açaí a um tratamento hidrotérmico atuante no fracionamento da biomassa.

No caso específico das fibras, a presença de polissacarídeos celulose e hemicelulose colabora para aplicação energética e elaboração de bioprodutos. A celulose tem potencial na produção de bioetanol e biometano, bem como pode ser direcionada como matéria-prima na obtenção de enzimas lignocelulósicas por rota fermentativa (DE LIMA *et al.*, 2021).

Embora existam propostas de reaproveitamento, o quantitativo de resíduos de despulpamento apenas no Estado do Pará totalizaram um total de 119.661 toneladas no ano de 2018 (BRAGA *et al.*, 2021). Isso reforça a importância de pesquisas em estratégias que ofereçam novos usos aos constituintes sólidos do açaí como cascas, caroços e fibras.

## **2.2 Biopolímeros**

### **2.2.1. Características e propriedades**

Os biopolímeros vêm ganhando destaque na indústria de materiais, principalmente nos segmentos de embalagens, automobilístico e biomedicina por servirem como alternativa aos polímeros convencionais oriundos de fontes fósseis, os quais demoram muitos anos para se decompor totalmente no meio ambiente (BASTOS, 2007). Neste trabalho, o foco foi dado nos biopolímeros que não apresentem efeito tóxico e que sejam tanto biocompatíveis quanto biodegradáveis.

Uma grande variedade de biopolímeros de fontes renováveis, como polissacarídeos, proteínas e lipídios extraídos a partir de matérias-primas vegetais ou animais, vêm sendo estudadas como estratégia de diminuir o alto impacto ambiental

proporcionada pelos polímeros convencionais derivados do petróleo, tais como PET, PVC, PP, PS, entre outros (RHIM; NG, 2007).

Embora, os biopolímeros apresentem biodegradabilidade, capacidade antimicrobiana e sejam obtidos a partir de matérias-primas renováveis, o baixo desempenho das propriedades mecânicas e da permeabilidade ao vapor d'água colaboram para a limitação da aplicação em larga escala industrial e, por isso, os estudos visualizados na literatura buscam aprimorar essas características (RHIM; NG, 2007 e BAN et al., 2007).

Um exemplo de biopolímeros são os filmes constituídos por proteínas ou polissacarídeos, sendo o amido e a celulose os mais conhecidos comercialmente. Esses biopolímeros apresentam boa performance quanto à permeabilidade do oxigênio, em condições físicas que abrangem de baixa a intermediária umidade relativa. Por outro lado, a barreira contra o vapor d'água é falha, devido à natureza hidrofílica do material (RHIM; NG, 2007), por causa da existência de ligações de hidrogênio intramoleculares e intermoleculares na estrutura química das macromoléculas.

A produção de biopolímeros estimula o ciclo de vida da biomassa, fortalecendo o aproveitamento eficiente dos recursos naturais, bem como a redução da exploração de fontes fósseis e a preservação dos recursos hídricos (SIRACUSA et al., 2008). Tal efeito na natureza do ciclo da biomassa está ilustrado na Figura 10.

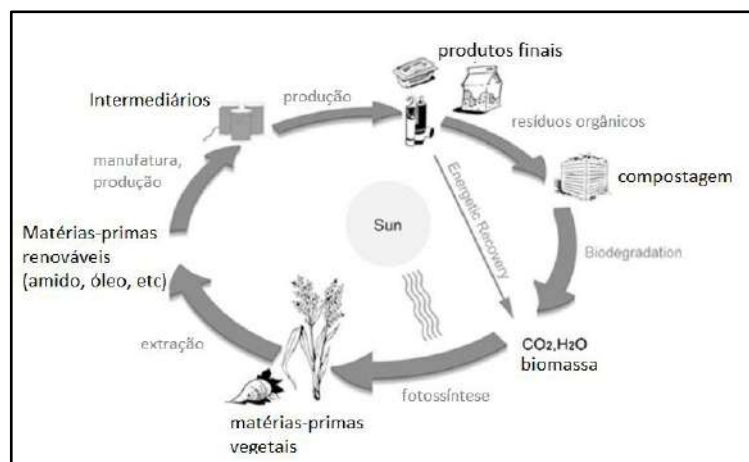


Figura 10 – Ciclo de vida da biomassa no meio ambiente (Adaptado de European Bioplastics, 2022).

Em relação à classificação, os biopolímeros fazem parte dos polímeros que são provenientes de fontes naturais e renováveis. Os biopolímeros de interesse neste trabalho se restringem aos biodegradáveis que podem ser divididos em naturais e sintéticos. No que tange aos naturais, pode-se citar como fonte precursora: a biomassa e os microrganismos. (RHIM; PARK; HA, 2013).

No grupo de biopolímeros naturais obtidos a partir de fontes de biomassa estão inseridos aqueles obtidos a partir de recursos agrícolas, por exemplo, a base de polissacarídeos incluindo amido, celulose, quitosana, alginato, ágar e carrageína, bem como proteínas representadas por proteína de soja, glúten de trigo, gelatina, colágeno e caseína (RHIM; PARK; HA, 2013).

Em relação à classe dos biopolímeros produzidos a partir da fermentação por microrganismos existem os polihidroxialcanoatos (PHA's), poli hidroxibutiratos (PHB's) e poli 3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato (PHBV) (SHANKAR; RHIM, 2018).

E existem ainda os biopolímeros gerados de fontes biotecnológicas com destaque ao poli-l-lático (PLA). (SHANKAR; RHIM, 2018).

A biodegradabilidade dos biopolímeros consiste na possibilidade de ocorrência de reações de quebra da cadeia polimérica em frações menores a partir da ação abiótica na presença de fatores como luz, oxidação, temperatura e substâncias químicas ou por meio de reações bióticas com a atuação de enzimas ou microrganismos como fungos, bactérias ou algas, dependendo de fatores como insumos, estrutura química e condições ambientais (ROCHA et al., 2018).

A biodegradabilidade do polímero também é influenciada pelo grau de cristalinidade, sendo esta uma propriedade que demonstra a correlação entre fases cristalinas e amorfas na microestrutura polimérica. O incremento na cristalinidade proporciona uma barreira à luminosidade, retardando a degradabilidade fotoquímica e a difusão do oxigênio através da matriz polimérica, contribuindo para redução dos processos que levam à deterioração e, conseqüentemente, a biodegradação. Em adição a isso, a cristalinidade também afeta outras características como a transparência do polímero e as propriedades mecânicas de modo diretamente proporcional (SHANKAR; RHIM, 2018).

A Figura 11 traz uma representação esquemática de plásticos biodegradáveis, com destaque aos mais aplicados na produção de embalagens, separados por fonte.

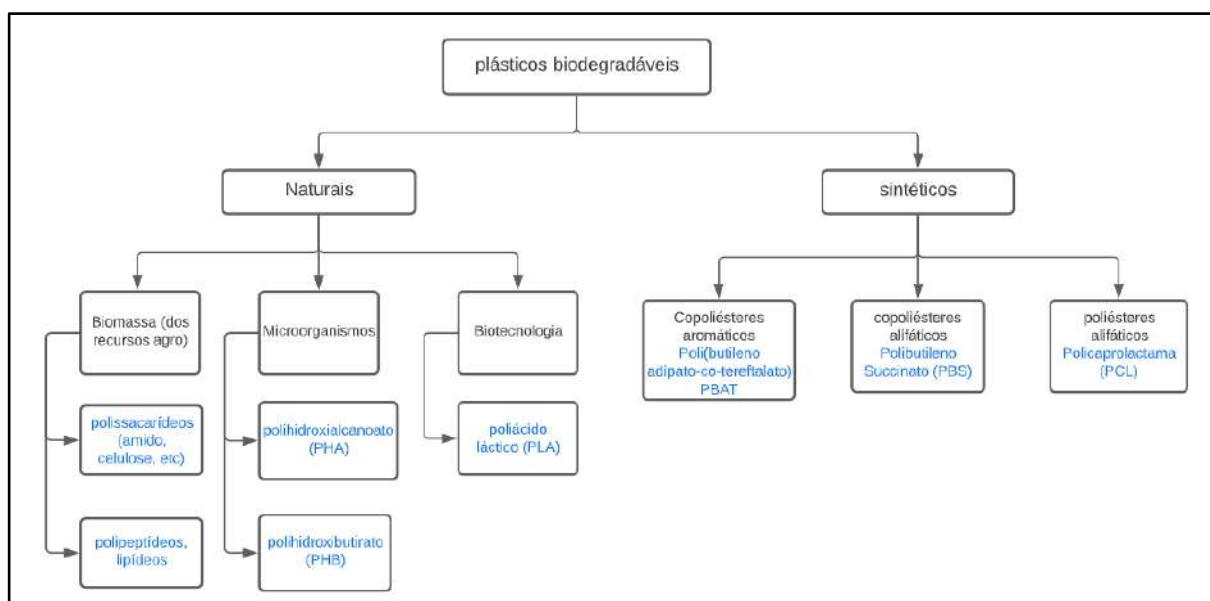


Figura 11 – Representação esquemática da classificação dos biopolímeros (Fonte: elaboração própria (adaptado de Shankar & Rhim, 2018).

## 2.2.2. Produção e mercado

O mercado global da produção de plásticos possui alto crescimento ao longo dos anos. Segundo dados do estudo Atlas do Plástico (2020), entre os períodos de 1950 e 2017, um total de 9,2 bilhões de toneladas de plásticos foram geradas, representando um total de 400 milhões de toneladas por ano. Deste consolidado, apenas 9% passaram pelo processo de reciclagem. Ainda de acordo com esse panorama, o Brasil é o quarto país que mais produz materiais plásticos com um total anual de 11,3 milhões de toneladas.

O setor de embalagens corresponde a um nicho de mercado que mais utiliza plásticos para a fabricação de produtos como sacolas, filmes de alimentos e garrafas de bebidas. De acordo com dados analisados pela Grand Review Research, em 2017, o valor de mercado da indústria de embalagens de alimentos alcançou US\$ 277,9 bilhões. Esse comportamento de expansão foi observado também em 2018, período em que obteve um montante global de US\$ 891 bilhões de dólares (ABRE, 2021). O incremento no mercado de embalagens plásticas vêm sendo acompanhado com



preocupações quanto à poluição ambiental e a imposição de legislações mais severas quanto ao descarte de resíduos sólidos.

Uma alternativa para a substituição dos plásticos convencionais refere-se a utilização de embalagens biodegradáveis a partir dos bioplásticos. Embora, os dados do *report* da *European Bioplastics Conference* demonstrem que a produção dos biopolímeros corresponda a apenas 1% do total global anual do mercado de plásticos, a demanda por este tipo tem aumentado (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2021)

A produção dos biopolímeros representada no relatório da *European Bioplastics Conference* demonstrou uma evolução ao longo dos anos, conforme pode ser visualizado no gráfico (Figura 12). Tal acréscimo pode ser explicado por maiores investimentos no desenvolvimento de biopolímeros como o PBAT, PBS e os PLA's em novas aplicações na indústria e na elaboração de novos produtos.

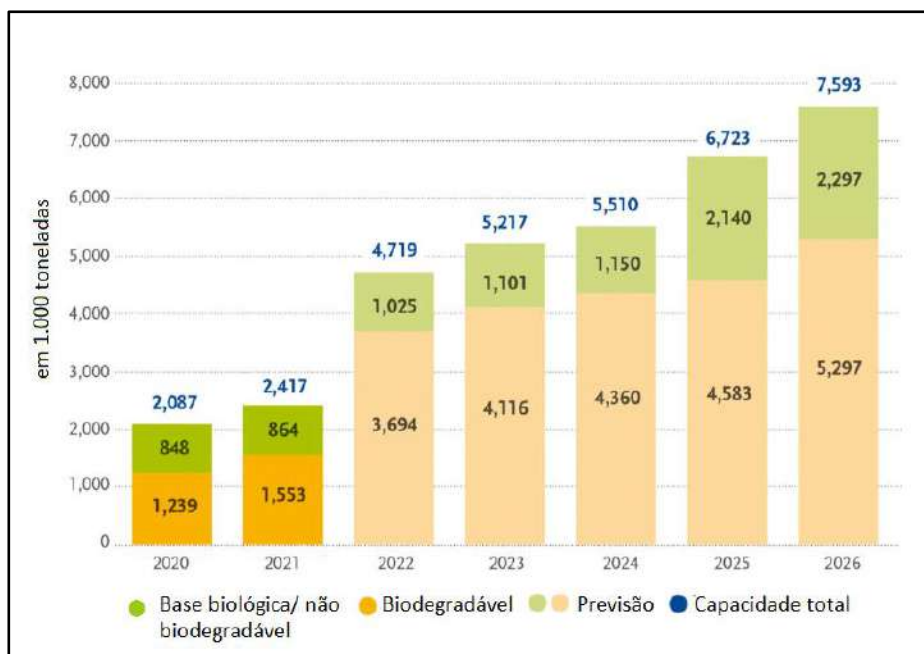


Figura 12 – Capacidade global de produção dos bioplásticos ao longo dos anos 2020 a 2026 – previsão (Fonte: Adaptado de “Bioplastics market update 2021 – European Bioplastics (Disponível em: [www.european-bioplastics.org](http://www.european-bioplastics.org))).

Em relação à macrorregião global, a Ásia foi a maior produtora apresentando maior participação na fabricação de biopolímeros no decorrer de 2021, com um percentual de 49,9% da produção mundial. Em segundo e terceiro lugares, seguem os países de Europa e América do Norte com porcentagens de 24,1% e 16,5%,

conforme os dados também coletados no anuário da *European Bioplastics* e ilustrados na tabela 1.

Tabela 1 – Percentual global de produção por região mundial em 2021 (Fonte: European Bioplastics (Disponível em: [www.european-bioplastics.org](http://www.european-bioplastics.org))).

Regiões	% produção
Ásia	49,90%
Europa	24,10%
América do Norte	16,50%
América do Sul	9,10%
Austrália/Oceania	0,40%

Outro aspecto de relevância apresentado nos dados do European Bioplastics esteve correlacionado à aplicabilidade. Assim, observa-se na Figura 13 informações a respeito do direcionamento do mercado global de bioplásticos, com a produção voltada para o segmento de embalagens flexíveis, representado por uma quantidade de 665 mil toneladas.

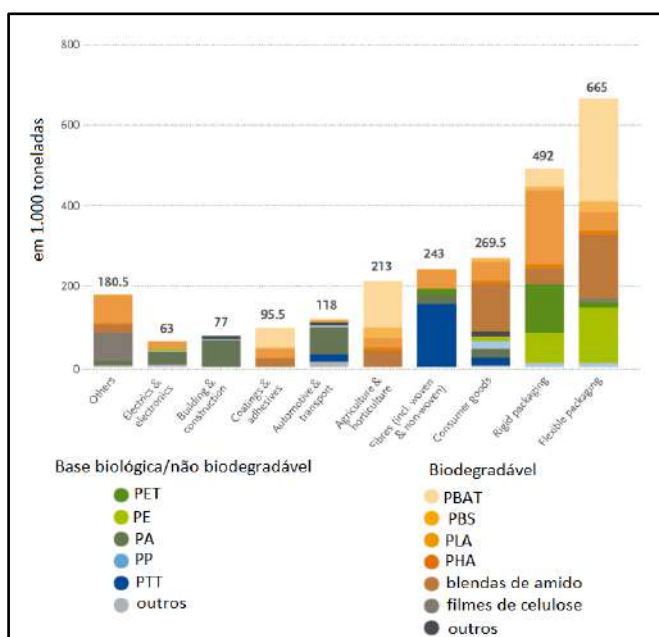


Figura 13 – Capacidade global de produção dos biopolímeros em 2021 por segmento de mercado (Fonte: Adaptado de “Bioplastics market update 2021 – European Bioplastics e disponível em: [www.european-bioplastics.org](http://www.european-bioplastics.org)).

A partir da Figura 13, observa-se que em 2021 o setor de embalagens flexíveis representa o setor de destaque na aplicação dos biopolímeros. Dentre esses

materiais, o PBAT, o PLA e o PE de origem biológica são os principais utilizados na produção dessas embalagens.

O aumento na perspectiva de produção global dos biopolímeros em conjunto com pesquisas tecnológicas têm impulsionado o desenvolvimento de novos bioplásticos. Um exemplo disso é o PFE, que corresponde a um polímero termoplástico advindo da biomassa com capacidade de substituir o PET em aplicações no segmento de embalagens de bebidas e têxtil (PIVOTTO *et al.*, 2022). A possibilidade de utilização do PFE se deve às propriedades térmicas melhores e à superioridade no desempenho das características de barreira.

### **2.2.3. Principais biopolímeros e aplicações**

Abaixo, encontram-se algumas informações a respeito dos principais biopolímeros e algumas das suas aplicações:

#### 2.2.3.1 – Filmes de amido:

Os biofilmes a base de amido fazem parte da categoria de biopolímeros naturais que são transparentes e possuem fragilidade no desempenho mecânico. No processo de obtenção deles adiciona-se agentes plastificantes, como os polioís, os quais ajudam a fornecer maior flexibilidade. A inclusão desses compostos pode proporcionar a fabricação de filmes com colorações que variam do transparente ao amarelado, dependendo da concentração adicionada (ZHANG; HAN, 2006 apud ZHANG; LIU; HAN, 2008).

Em relação à permeabilidade ao vapor d'água, os filmes constituídos por amido apresentam essa propriedade de transporte alta, o que possibilita a transferência de umidade através da espessura do material, uma vez que a presença de grupos hidroxilas nas moléculas do amido possibilitam o aumento da higroscopicidade. Tal resultado pode inviabilizar o uso deste material, não sendo satisfatório para algumas aplicações (ZHANG; LIU; HAN, 2008).

Outro atributo influenciado pela natureza hidrofílica deste material é a permeabilidade ao oxigênio. Assim, ele possui excelente performance em condições secas, atuando como um material adequado na preservação de aromas (ZHANG; LIU; HAN, 2008).

Quanto à metodologia de obtenção, os filmes de amido podem ser feitos a partir do amido nativo ou através de seus componentes como amilose e amilopectina (Figura 14) a partir de processos de conformação dos filmes de amido como o método *Casting* (PAES; YAKIMETS; MITCHELL, 2008).

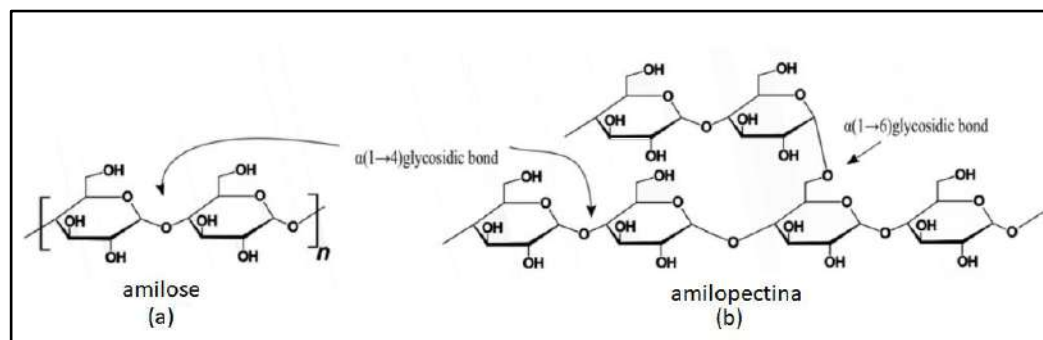


Figura 14 – Estrutura química da amilose (a) e da amilopectina (b) (Fonte: Adaptado de Kumar *et. al*, 2022).

O método *Casting* abrange três etapas, sendo a primeira a gelatinização do amido com adição de um plastificante, seguido pela aplicação em um molde e, por último, a dessecação para a remoção dos solventes e formação do filme (CUI *et al.*, 2021). Apesar da simplicidade, essa forma de processamento quando submetida ao planejamento do scale up resulta em um longo tempo de produção e requer a evaporação de um grande número de solventes (LA FUENTE *et al.*, 2021).

No processamento do amido, parâmetros como temperatura, tempo de aquecimento, cisalhamento e condições de secagem variam entre as diferentes metodologias de produção, resultando em filmes com distintas propriedades físicas e mecânicas. Um exemplo disso, é a etapa de gelatinização do método *Casting*, em que um maior tempo de gelatinização e taxas de secagem mais lentas levam a uma rede mais sólida, maior grau de cristalinidade e menor permeabilidade ao vapor d'água por causa do favorecimento na reorganização da cadeia polimérica (PAES; YAKIMETS; MITCHELL, 2008).

A extrusão, é outro método industrial bem conhecido na produção e conformação de plásticos, inclusive na fabricação dos filmes de amido, tendo como principal vantagem a possibilidade de resultar na obtenção de uma ampla faixa de espessuras (LA FUENTE *et al.*, 2021).

### 2.2.3.2 – Filmes de celulose:

Os biopolímeros de celulose fazem parte do grupo dos polissacarídeos que possuem cadeias poliméricas na forma de microfibrilas. A ampla rede de ligações de hidrogênio reflete em características como a alta hidrofiliabilidade. E em adição a isso, possuem fortes propriedades mecânicas e alta flexibilidade (FRANCIS; SASIKUMAR; GOPALAN, 2013).

Assim como o amido, a celulose (Figura 15) é um homopolímero da glicose. Na natureza, é encontrada como componente da parede celular de plantas e vegetais devido à resistência, aspecto fibroso e insolubilidade em água. Além disso, também pode ser sintetizada por bactérias, diferenciando-se da celulose vegetal por não necessitar de um processo de separação para retirada da lignina e por apresentar maior retenção de água (BRIGHAM, 2018).

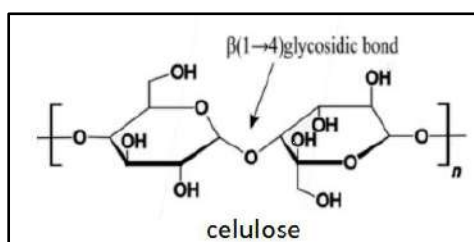


Figura 15 – Estrutura química da celulose (Fonte: Adaptado de Kumar *et. al*, 2022).

Devido às características como alta cristalinidade, aspecto fibroso e hidrofobicidade, a celulose precisa ser transformada para tornar-se processável. Portanto, derivados de celulose são obtidos a partir da reação de um ou mais grupos hidroxila como é o caso do celofane, a partir da reação da celulose em um meio formado por hidróxido de sódio e dissulfeto de carbono na presença de ácido sulfúrico (DHALL; ALAM, 2020).

Por sua vez, o celofane apesar de apresentar boas propriedades mecânicas demonstra-se sensível à umidade, necessitando de revestimentos a base de nitrocelulose ou cloreto de polivinilideno com a finalidade de melhorar as suas propriedades de barreira (DHALL; ALAM, 2020).

Outro derivado da celulose, os nanocristais de celulose (CNC) são obtidos a partir da hidrólise das fibras celulósicas na presença de ácido forte como o ácido sulfúrico e em um processo de elevada temperatura (DHALL; ALAM, 2020). Os CNC's

mostram-se materiais promissores uma vez que apresentam alta área superficial, resistência mecânica e cristalinidade e possuem compatibilidade quando combinados com materiais de diferente polaridade, além de contribuírem para a sustentabilidade (JANENI; ADASSOORIYA, 2021).

#### 2.2.3.3 – Polihidroxicanoato – PHA:

Os polihidroxicanoatos (PHA's) compreendem uma família de polímeros de poliésteres alifáticos biodegradáveis e hidrofóbicos que são produzidos intracelularmente por bactérias e atuam nesses microrganismos como moléculas de armazenamento de carbono e energia (JOST; MIESBAUER, 2017).

Os PHA's são considerados biopolímeros termoplásticos promissores por causa de fatores como baixa permeabilidade ao oxigênio, além de boas propriedades físicas e mecânicas, com desempenho comparável a diversos termoplásticos como polietileno, propileno e poliestireno (SUN et al., 2017).

O processamento dos filmes a base de PHA demonstra-se desafiador devido à baixa viscosidade quando fundidos e, por esse motivo, as metodologias de transformação industriais envolvem fiação ou injeção e não sendo recomendada a extrusão (JOST; MIESBAUER, 2017).

O monômero do PHA pode variar dependendo do organismo produtor, da fonte de carbono alocada na biossíntese e da enzima *PHA sintase* utilizada. Assim, o principal polímero do grupo PHA que vêm sendo estudado atualmente é o homopolímero polihidroxibutirato (PHB) produzido pela bactéria *Ralstonia eutropha* (BRIGHAM, 2018).

Um aspecto favorável relaciona-se a biocompatibilidade dos biopolímeros PHB, que os tornam elegíveis para aplicação na área médica, principalmente, na elaboração de dispositivos biomédicos e biomateriais como placas ósseas, suturas e pinos ortopédicos (VILLEGAS et al., 2019).

Em paralelo a isso, de acordo com estudos realizados por Bucci *et. al* (2005, apud DHALL; ALAM, 2020), os filmes de PHB apresentaram uma deformação 50% menor do que as embalagens constituídas por polipropilenos (PP) embora os resultados quando submetidos à refrigeração não tenham sido satisfatórios,

demonstrando a potencialidade na aplicação desse material no segmento de embalagens.

#### 2.2.3.4 – Ácido poli lático ou polilactato – PLA:

Outro biopolímero promissor, o ácido poli lático ou polilactato (PLA), tem sido estudado, amplamente, em aplicações médicas por causa da sua capacidade de bioabsorção e biocompatibilidade no corpo humano. Além disso, esse material também possui potencial de aplicação no mercado de embalagens pelo desempenho similar ao PET, transparência, alta resistência às forças de tensão e boa maquinabilidade quando fundido (AURAS; HARTE; SELKE, 2003).

As rotas de produção do ácido láctico, que é a molécula precursora do PLA, podem ser tanto por via petroquímica, por meio do etileno e acetileno, como também pela rota biotecnológica, a partir da fermentação das matérias-primas naturais, principalmente, o milho e o açúcar. Posteriormente, o PLA é obtido de modo indireto pelo lactato ou de forma direta mediante sua polimerização por condensação (BASTOS, 2007).

Outros atributos também fazem do PLA um material de destaque, sendo eles: reciclabilidade, alta transparência, alto peso molecular, boa processabilidade e resistência à solubilidade em água (SIRACUSA et al., 2008), sendo esta última característica atribuída a sua estrutura química com a presença de um grupamento metila no carbono alfa, conforme Figura 16, a seguir (MAHALIK; NAMBIAR, 2010).

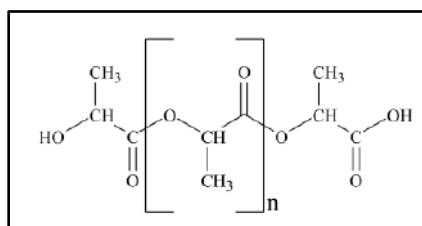


Figura 16 – Estrutura química do poli(ácido láctico) (Fonte: Adaptado de McKeen, 2012).

Quanto às propriedades e performance do PLA, o aumento da temperatura pode ocasionar a sua racemização e a sua degradação. A perda de estabilidade térmica do material pode ser acelerada por fatores como: presença de grupos terminais de baixo peso molecular reativos, alta polidispersão, umidade e impurezas (PLACKETT, 2011).

No que tange à permeabilidade aos gases, a performance do PLA é comparável ao PET (PLACKETT, 2011).

Além disso, pela Figura 16, observa-se que o PLA possui cadeia química linear, com ramificação de um grupo metila, que faz com que seja mais amorfo e hidrofílico do que outros polímeros similares como o poli(ácido glicólico). Outra característica é a solubilização em solventes, sendo também um dos atributos deste tipo de biopolímero sintético, que é capaz de interagir quimicamente com substâncias orgânicas, como o clorofórmio, metanol, etanol, benzeno, acetona e dimetilformamida (FRANCIS; SASIKUMAR; GOPALAN, 2013).

#### 2.2.3.5 – Policaprolactona – PCL:

Este poliéster biodegradável derivado de fontes fósseis pode ser obtido a partir de uma rota sintética que envolve a polimerização por abertura de anel da unidade monomérica  $\epsilon$ -caprolactama (FRANCIS; SASIKUMAR; GOPALAN, 2013).

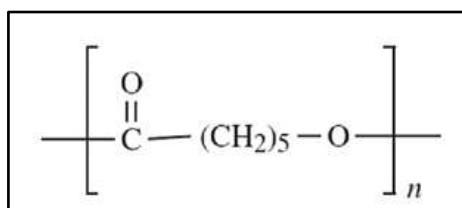


Figura 17 – Estrutura química da policaprolactona (PCL) (Fonte: adaptado de Shrivastava & Dondapati, 2021).

Como características de destaque pode-se enfatizar a resistência a água, óleo, solventes e cloro. Além disso, é um material semi-rígido, que apresenta tenacidade e flexibilidade. O bom desempenho das propriedades mecânicas o tornam adequado para aplicações em embalagens, implantes médicos e com protagonismo no sistema de liberação dos princípios ativos de fármacos (DHALL; ALAM, 2020).

Em relação às propriedades térmicas, a policaprolactona (PCL) apresenta temperatura de transição vítrea e temperatura de fusão, respectivamente, iguais a -62°C e 57°C. Além dos atributos mecânicos, este polímero também possui significativa estabilidade térmica visto que a degradação ocorre em valores de 350°C (SHRIVASTAVA; DONDAPATI, 2021).



A biodegradação ocorre por meio de reações hidrolíticas nas ligações de éster alifático instáveis (SHRIVASTAVA; DONDAPATI, 2021).

Embora as características sejam vantajosas, o custo do processamento do PCL é alto (SHRIVASTAVA; DONDAPATI, 2021).

## **2.3 Embalagens de alimentos**

### **2.3.1 Propriedades**

Quanto ao histórico das embalagens, o surgimento remonta ao período da revolução industrial. Uma das primeiras embalagens surgiu durante o império de Napoleão Bonaparte, e foi desenvolvida por Nicholas Appert, com a criação de um método de conservação dos mantimentos composto por garrafas de vidro e rolhas fixadas por arame (RISCH, 2009).

A descoberta de alguns materiais plásticos, como o nitrato de celulose, estireno e cloreto de vinil ocorreram em 1800, porém a aplicação na produção de embalagens somente ocorreu a partir do século XX (RISCH, 2009).

O mercado de embalagens vem apresentando crescimento ao longo dos anos, conforme os dados da agência de pesquisa de mercado Fortune Business Insights, alcançando valores econômicos equivalentes a 323,81 bilhões de dólares em 2020 e previsões de crescimento apontam um alcance de 478,18 bilhões de dólares no ano de 2028.

A produção de embalagens possui relação com a produção de resíduos plásticos. Os polímeros sintéticos a base de petróleo, dentre os quais, o tereftalato de polietileno, polietileno de alta densidade, cloreto de polivinila, polietileno de baixa densidade, polipropileno e poliestireno são amplamente utilizados no desenvolvimento de embalagens por causa de motivos como o baixo custo, longa duração, resistência aos produtos químicos e propriedades mecânicas adequadas para uma série de aplicações. No entanto, desvantagens também existem e incluem a poluição ambiental, não biodegradabilidade e acúmulo de lixo sólido (MOEINI et al., 2021).

As embalagens possuem papel fundamental no mundo industrializado pois provêm segurança contra danos físicos, atuam na contenção da perda ou aquisição de umidade, sendo também responsáveis por mitigar as reações químicas e

microbiológicas, prevenindo a degradação acelerada da qualidade. Além disso, servem como estratégia de marketing para atrair novos consumidores e informam sobre as características e validade dos produtos (SIDE, 2002).

Um dos aspectos de mensuração da qualidade das embalagens referem-se as propriedades de barreira que englobam, principalmente, a compressão da taxa de permeabilidade dos gases como oxigênio e vapor d'água no efeito sobre a qualidade e o *shelf-life* do alimento. A transferência de massa da região externa para o meio interno do filme pode impactar negativamente nas características sensoriais e propriedades físico-químicas do gênero alimentício. Assim estudos tem sido desenvolvidos por Siracusa *et. al*, 2008 e Otoni *et. al*, 2017 buscaram auxiliar na prevenção da oxidação e deterioração do produto.

A avaliação quantitativa da taxa de transmissão de oxigênio (Oxygen Transmission Rate – OTR) e do coeficiente de permeabilidade de oxigênio (Oxygen Permeability Coefficients – OPC) fornecem dados numéricos sobre o coeficiente de permeabilidade desse gás no filme polimérico. A medida que os valores desses parâmetros tornam-se baixos, a pressão na região interna decresce, de modo a contribuir para mitigação das reações oxidativas e incremento no tempo de vida útil do alimento (SIRACUSA *et al.*, 2008).

Os testes de tração são estabelecidos por meio de normativas técnicas internacionais como a ASTM D882-02 (*Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting*) e auxiliam na comparação das propriedades mecânicas entre os diferentes materiais plástico, contribuindo para a identificação do comportamento da resistência à tração, do percentual de alongamento na ruptura e do módulo elástico (SIRACUSA *et al.*, 2008).

Uma classe de ensaios destrutivos usados na avaliação da performance do plástico correspondem aos testes de impacto e testes de compressão padronizados, respectivamente, pelas normativas ASTM D1709-03 e ASTM D642. Em conjunto ao teste de tração almejam a mensuração da capacidade das peças suportarem aos estímulos externos como cargas compressivas e choques oriundos de dardos em queda livre (SIRACUSA *et al.*, 2008).

Outra propriedade relevante é a permeabilidade ao vapor de água, que também é extensivamente estudada por causa da importância do papel da água nas reações de deterioração, objetivando a manutenção dos alimentos frescos, crocantes e evitando a desidratação. Em paralelo, a avaliação do oxigênio, determinada pelos métodos padrão ASTM D-3935 e ASTM D-1434, possui aplicabilidade em acompanhar o fluxo de oxigênio, que poderia favorecer reações de oxidação indesejáveis nos produtos perecíveis (CAZÓN; VÁZQUEZ, 2019).

Em relação a permeabilidade ao vapor d'água observa-se uma dependência do valor desse parâmetro com o peso molecular dos filmes. Além disso, também são influenciados pelas condições de medição (umidade relativa e temperatura) bem como tempo e condições físicas de armazenamento dos filmes (CAZÓN; VÁZQUEZ, 2019).

A deterioração dos alimentos põe em risco a segurança alimentar dos consumidores e traz problemas de perda de receita para as empresas deste segmento. Nesse contexto de degradação pode-se mencionar três principais mecanismos: físico, químico e causado por microrganismos. De modo geral, esses tipos de decomposição trazem a alteração de parâmetros de pH, temperatura, atividade microbiana, presença de luz e oxigênio, resultando em mudanças na textura, cor, odor e sabor dos materiais comestíveis (JAYAKUMAR et al., 2022).

Portanto, pode-se reafirmar que os principais atributos de desempenho aplicáveis às embalagens, e que são avaliados durante a elaboração de um novo modelo de embalagem ou aperfeiçoamento dos já existentes, são: toxicidade dos materiais constituintes do filme, propriedades de barreira, propriedades mecânicas (alongamento, adaptabilidade às dimensões do produto e flexibilidade) e estabilidade química em relação à permeabilidade de água, óleo, gases e solventes (CHENG et al., 2022).

### **2.3.2. Inovações tecnológicas**

As embalagens inteligentes são soluções tecnológicas capazes de possibilitar o acompanhamento das propriedades dos alimentos frente às condições do meio em tempo real. Sendo assim, são classificados como ideias pioneiras pois informam aos consumidores sobre o estado físico-químico e microbiológico dos produtos mediante a variação de algum indicador de qualidade (HAN; HO; RODRIGUES, 2005).

A concepção de filmes plásticos com a adição de substâncias que mudam de cor, textura ou aroma à medida em que avança o processo de deterioração microbológica e enzimática faz parte das estratégias inovadoras e apresentam aplicabilidade nos alimentos com alta perecibilidade, dentre os quais, frutos do mar, carnes e frutas (OLADZADABBASABADI et al., 2022).

O pH, por exemplo, compreende uma das propriedades exploradas neste tipo de embalagem. A formulação obtida a partir do acréscimo de substâncias corantes sensíveis às variações de pH está inserida nas iniciativas de detecção do frescor/degradação e preservação da qualidade dos produtos alimentícios (OLADZADABBASABADI et al., 2022).

A contaminação microbológica dos laticínios e a produção de aminas voláteis derivadas da putrefação em frutos do mar e carnes provocam alterações significativas no pH. Nessa vertente, ações inovadoras de estudos para a formulação de indicadores de pH com a utilização de corantes naturais como antocianinas e betaína tem ocorrido, uma vez que esses materiais possuem a vantagem de baixa toxicidade em comparação aos corantes sintéticos (CHENG et al., 2022).

Os componentes específicos quando adicionados na estrutura da embalagem são capazes de captar o comportamento da temperatura e do tempo, sendo denominados de indicadores tempo temperatura (TTI). Eles são capazes de reconhecer o envelhecimento da comida, em tempo real, transmitido através dos estímulos visuais, com perdas irreversíveis na coloração. A depender do princípio de atuação, os sensores TTI podem ser tanto de natureza química, físicos, enzimáticos, microbianos, entre outros (CHENG et al., 2022).

Os sensores de umidade no revestimento das embalagens auxiliam na observação da atividade da água nas etapas de envase, armazenamento e distribuição dos alimentos, e também vem sendo explorada com ideias como a aplicação de nanocompósitos formados por gelatina e óxido de zinco, os quais apresentam variações nas propriedades dielétricas com a presença da umidade (CHENG et al., 2022).

Em complemento às tecnologias, a área da nanotecnologia tem como atuação a formulação de biofilmes a partir de substâncias naturais em escala bem reduzida.

(DHARANI *et al.*,2022). Essa solução se destaca pela otimização no desempenho das propriedades mecânicas, térmicas, além do aumento da performance da barreira contra gases e água, garantindo maior eficácia na funcionalidade dos biofilmes (JAYAKUMAR *et al.*, 2022).

## Capítulo 3 Metodologia

A metodologia deste trabalho foi dividida em duas partes. A primeira envolveu a realização de uma prospecção tecnológica simplificada direcionada para o entendimento do estado da arte das indústrias de açaí e de biopolímeros. Nessa fase prospectiva, houve o levantamento de artigos e patentes voltados para a temática deste projeto de modo a reunir informações acerca da indústria do açaí, da formação de biopolímeros e da importância das embalagens, principalmente focando-se no segmento alimentício. Em paralelo a isso, a identificação das tecnologias de mercado teve como finalidade a reunião de informações sobre as rotas produtoras de biopolímeros para embalagens. Em complemento, a segunda fase tratou da análise crítica dos dados coletados na literatura, visando a proposição de um processo, a partir do uso dos resíduos gerados pela indústria de açaí, que atendessem o escopo da fabricação de um biofilme para o segmento de embalagens alimentícias.

### 3.1 – Prospecção tecnológica

A primeira parte correspondeu a prospecção tecnológica para aquisição de conhecimentos sobre o açaí, embalagens e biopolímeros, onde foi utilizada como base de dados para a pesquisa dos artigos científicos a plataforma Scopus (Figura 18), pertencente a editora Elsevier. A escolha da plataforma Scopus para a pesquisa dos artigos se deu por ser considerada uma base de dados de resumos e citações de literatura científica que reúne 22.000 títulos e disponibiliza ao usuário ferramentas bibliométricas para acompanhar, analisar e visualizar a pesquisa. O acesso a essa base de dados se deu por meio do Portal de Periódicos Capes.

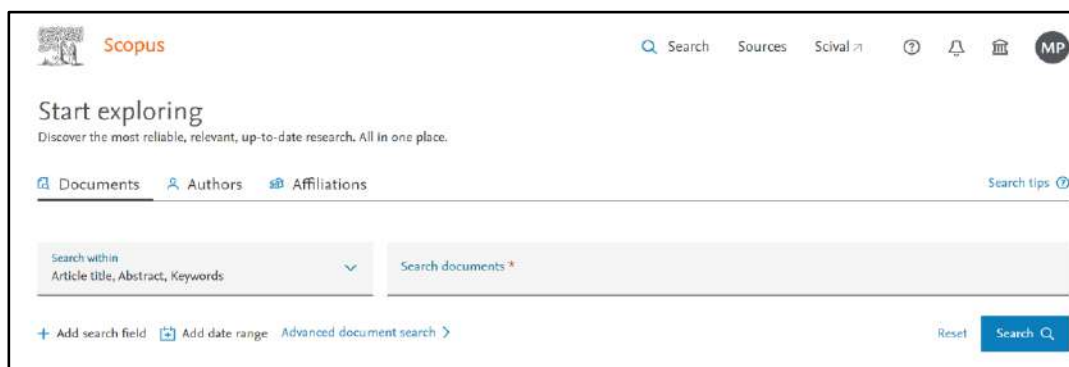


Figura 18 – Layout da tela de pesquisa do banco de dados Scopus (Fonte: Scopus, 2022).

A Tabela 2, a seguir, ilustra as regras de pesquisa realizadas considerando o período entre 2002 e 2022 escolhido para o estudo. No total foram realizadas cinco estratégias de busca na plataforma de artigos, variando-se os campos e termos filtrados.

Tabela 2 – Estratégias de busca de artigos realizadas na plataforma Scopus.

Número da estratégia	Estratégia realizada
1	No título do artigo: açai
2	No título, resumo e palavras chaves: açai AND film
3	No título, resumo e palavras chaves: açai AND antioxidants AND packaging
4	No título, resumo e palavras chaves: açai AND (biodegradable OR biopolymers OR bioplastics) AND films
5	No título, resumo e palavras chaves: açai AND biopolymers AND food

Em relação às patentes, as informações foram extraídas da plataforma Patent Inspiration® (Figura 19), que é integrada ao banco de dados documental DOCDB pertencente ao *European Patent Office* (EPO) e responsável por armazenar informações bibliográficas pertencentes aos mais de 100 países ao redor do mundo desde o século 19.

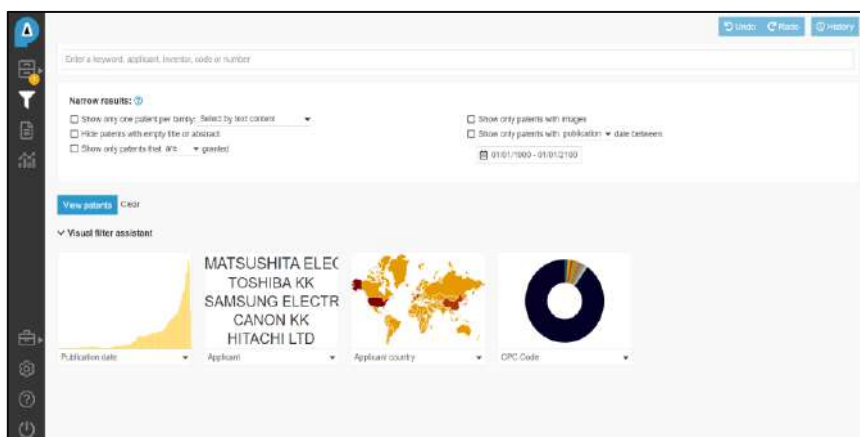


Figura 19 – Dashboard de buscas da plataforma Patent Inspiration

A escolha da Patent Inspiration® se deu por causa de atributos como: versão totalmente acessível de forma gratuita, que possibilita a busca avançada das patentes publicadas, concedidas e garantidas a partir da especificação de campos como palavras chaves, tipo de depositante, data de publicação, código CPC e IPC, entre outros recursos. Além disso, a plataforma disponibiliza ainda alguns recursos gratuitos para análise, como a distribuição de patentes por países, a evolução temporal das patentes concedidas e registradas, além das principais empresas detentoras dos direitos da tecnologia/produto/serviço patenteados.

A Tabela 3, abaixo, sinaliza os principais mecanismos de busca na plataforma Patent Inspiration. Por mais que pudesse ser empregadas as reivindicações como mecanismos de busca das patentes, optou-se pela utilização do CPC (*Cooperative Patent Classification*) com o objetivo de alcançar resultados mais específicos e refinados. Esse sistema de classificação das patentes é derivado do IPC (International Patent Classification) e diferencia-se por possuir maior detalhamento, contando com 200 mil grupos de patentes (INPI, 2022).

Tabela 3 - Estratégias de busca de patentes realizadas na plataforma Patent Inspiration.

Número da estratégia	Estratégia realizada
1	No título e resumo: açai
2	Código CPC: B09B (Disposal of solid waste) AND title: film
3	açai (título) AND antioxidant (título e resumo)
4	açai (título) AND biodegradable (título ou resumo) OR bioplastics (título ou resumo) AND B27N (CPC Code)

\* período especificado entre 01/01/2002 a 01/01/2022

B27N = MANUFACTURE BY DRY PROCESSES OF ARTICLES, WITH OR WITHOUT ORGANIC BINDING AGENTS, MADE FROM PARTICLES OR FIBRES CONSISTING OF WOOD OR OTHER LIGNOCELLULOSIC OR LIKE ORGANIC MATERIAL

O mapeamento da produção científica e acadêmica trouxe a aquisição de conhecimentos mais direcionados na compreensão das características do mercado,



da produção e das propriedades do açaí, mas também auxiliou nas informações sobre biopolímeros e embalagens.

Em paralelo a busca nessas plataformas de artigos, a execução da coleta de informações em links de pesquisa e sites especializados, dentre os quais o da Abiplast, Embrapa e Abicom, mostraram-se importantes para a elaboração da fundamentação técnica, reunindo dados quantitativos sobre a produção de biopolímeros, a comercialização nacional e internacional do açaí e a evolução temporal do segmento de embalagens.

Para auxiliar na pesquisa acerca da temática açaí foi elaborado um mapa mental após a consulta inicial de levantamento de informações quanto a características, propriedades e fabricação do açaí. A estruturação dos conceitos, a partir dessas representações visuais foram efetuadas por autoria própria com recursos gráficos disponibilizados na plataforma Lucidchart. Tal mecanismo serviu para organização de um fluxo de ideias e identificação de potenciais palavras-chaves a serem utilizadas nas etapas de pesquisa em artigos e patentes deste trabalho.

Posteriormente, a partir das palavras chaves encontradas e adotando-se estratégias de busca com operadores booleanos (AND, OR e NOT) teve início efetivamente a pesquisa nos sites de pesquisa de artigos (Scopus) e patentes (Patent Inspiration).

Em continuidade à prospecção tecnológica para reunião de informações sobre o açaí, os biopolímeros e embalagens, houve também o enfoque no levantamento das tecnologias de produção dos biofilmes para o emprego em embalagens alimentícias.

Nesta parte do trabalho foram utilizadas as mesmas bases de dados de artigos (Scopus) e patentes (Patent Inspiration) empregadas anteriormente na fase de levantamento das informações da indústria de açaí.

A identificação das principais palavras-chaves auxiliou na obtenção de um maior número de artigos e patentes que ajudassem a entender as principais rotas tecnológicas, características de produção e propriedades físicas dos biopolímeros voltados para uso em embalagens.

Assim, no que tange aos biopolímeros foram adotadas as seguintes palavras-chaves:

- biopolymers
- biofilms
- bioplastics

Em relação às embalagens, escolheu-se os termos mais representativos e usualmente encontrados na literatura, sendo eles:

- packaging
- films

Após a definição das palavras-chaves, houve a coleta das informações, seguindo-se a estratégia de pesquisa abaixo:

- Critério de busca: títulos e resumos dos artigos e patentes;
- Período: 2002 a 2022;
- Combinação de palavras-chaves: (biopolymers OR bioplastics OR biofilms) AND packaging AND foods AND production

Na sequência, houve a análise dos cenários encontrados a partir da estratégia de pesquisa previamente definida. Dessa forma, pode-se concluir sobre as tecnologias mais consolidadas no mercado atual e as principais empresas detentoras dessas soluções tecnológicas.

### **3.2 – Análise crítica**

Como última parte deste projeto final foi conduzida uma análise crítica que possibilitou a identificação das particularidades e aspectos técnicos dos métodos de produção e processamento dos bioplásticos. A partir disso, houve a combinação dos conhecimentos adquiridos com as características e propriedades do açaí, sendo possível alcançar correlações entre as variáveis físicas críticas para o processo (temperatura, granulometria e umidade). Em adição a isso, um estudo de caso entre dois biopolímeros já utilizados em embalagens (amido e PLA) foi elaborado, sendo possível chegar a proposta de um fluxograma de processo direcionado a temática

deste trabalho, a qual engloba o uso dos resíduos gerados na indústria do açaí como matéria prima para a confecção de um biofilme para uso no revestimento de produtos alimentícios.

## Capítulo 4 Resultados e Discussões

### 4.1 – Prospecção Tecnológica

Conforme mencionado na metodologia, na primeira fase do trabalho envolveu a obtenção de um mapa mental (Figura 20), o qual auxiliou na estruturação dos conceitos a respeito do açaí. Nessa estratégia, as palavras pertencentes a um mesmo contexto foram representadas com a mesma cor. Por exemplo, em vermelho, foram sinalizados os termos referentes à produção da polpa de açaí responsável pela formação de resíduos sólidos como fibras e caroços.

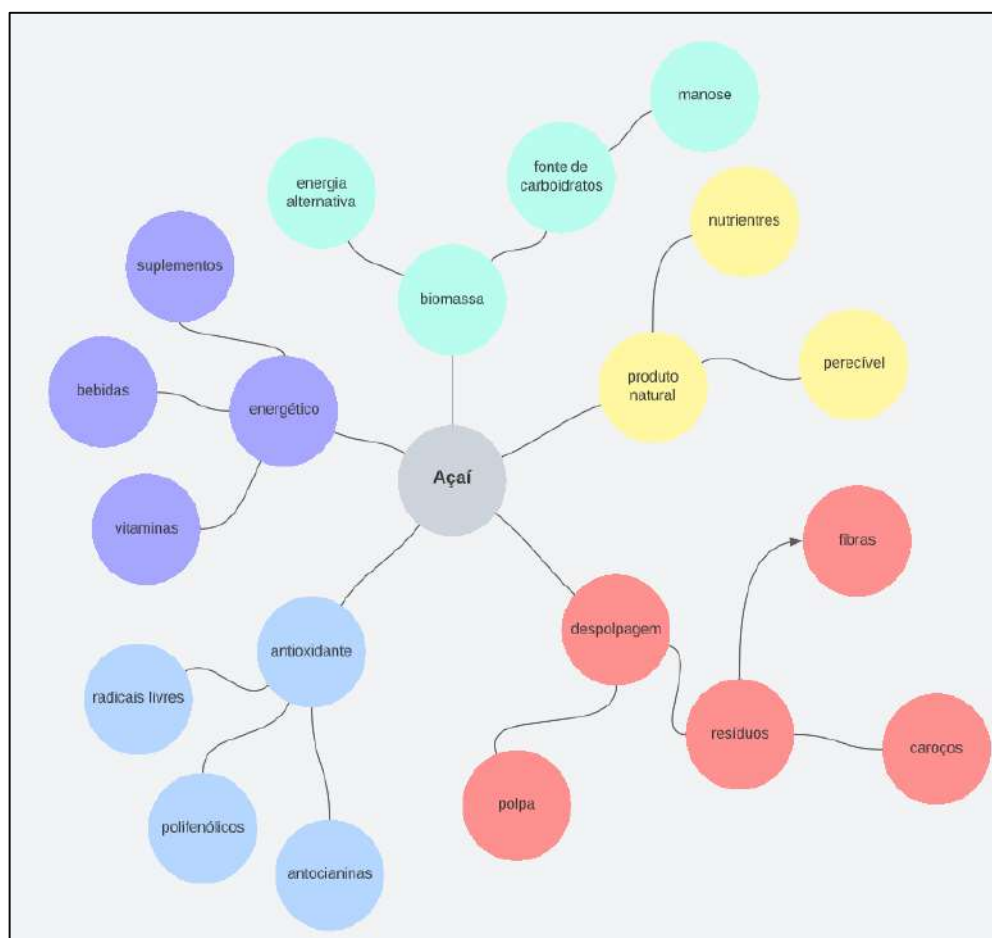


Figura 20 - Mapa mental dos termos relacionados à palavra açaí (Fonte: Elaboração própria a partir do Lucidichart).

A etapa inicial de pesquisas bibliográficas em bancos de dados de artigos apresentaram resultados e informações fundamentais sobre o açaí, os biopolímeros e as embalagens que foram utilizados para a concepção da revisão bibliográfica deste trabalho.

Na prospecção por artigos, especificamente na estratégia de busca número 1, foi utilizado como filtro a palavra-chave “açai” no título, restrito para o período compreendido entre 2002 e 2022, alcançando um montante de 634 documentos para as plataformas Scopus, como está sinalizado na tabela 4.

Tabela 4 - Estratégias de busca de artigos realizadas na plataforma Scopus.

Número da estratégia	Estratégia realizada	Número de artigos encontrados (2002 – 2022)
1	No título do artigo: açai	634
2	No título, resumo e palavras chaves: açai AND film	17
3	No título, resumo e palavras chaves: açai AND antioxidants AND packaging	5
4	No título, resumo e palavras chaves: açai AND (biodegradable OR biopolymers OR bioplastics) AND films	5
5	No título, resumo e palavras chaves: açai AND biopolymers AND food	2

Observa-se que aplicando a quinta estratégia de busca, pode ser obtido como resultado artigos que tratam unicamente da reutilização dos caroços e fibras do açai como fonte de aditivos em biopolímeros e como fonte de biomassa, respectivamente. Isso pode ser evidenciado pela Figura 21, abaixo.

	Document title	Authors	Year	Source	Cited by
<input type="checkbox"/> 1	Amazon-sustainable-flour from açai seeds added to starch films to develop biopolymers for active food packaging	Romani, V.P., Martins, V.G., da Silva, A.S., (...), Nogueira, D., Carbonera, N.	2022	Journal of Applied Polymer Science 139(5),51579	1
View abstract <input type="button" value="Capes-BR"/> View at Publisher Related documents					
<input type="checkbox"/> 2	Utilization of Acai Berry Residual Biomass for Extraction of Lignocellulosic Byproducts <i>Open Access</i>	Linan, L.Z., Cidreira, A.C.M., da Rocha, C.Q., (...), Rocha, G.J.D.M., Paiva, A.E.M.	2021	Journal of Bioresources and Bioproducts pp. 323-337	7
<input type="button" value="Article in Press"/>					

Figura 21 – Resultados encontrados para a quinta estratégia de busca na plataforma Scopus (Fonte: Scopus, 2022).

O aprofundamento das informações obtidas na tabela 4 serão discutidas ao longo deste capítulo.

Em relação a primeira estratégia de busca presente da tabela 4, os artigos avaliados se apresentam em diferentes temáticas, ilustradas pela Figura 22, sendo o maior número de publicações observadas nas áreas de Agricultura e ciências biológicas e medicina.

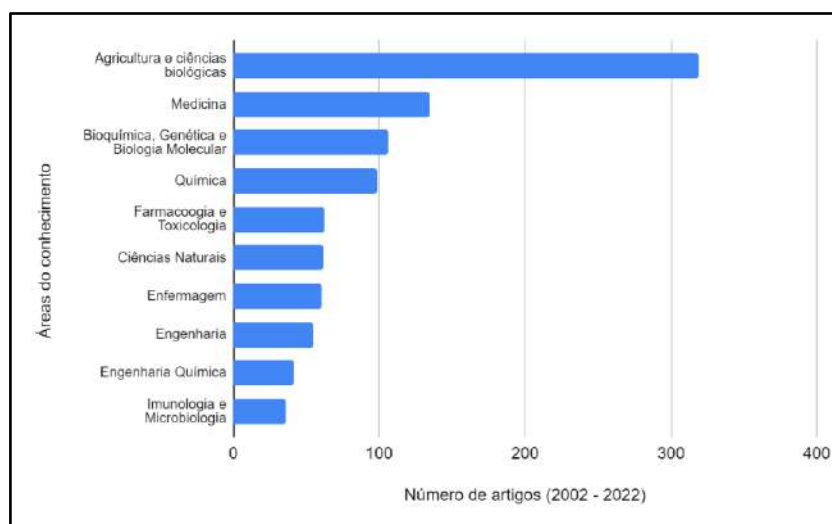


Figura 22 – Distribuição de artigos por área do conhecimento a partir da estratégia de busca número 1 na Plataforma Scopus (Elaboração própria, adaptado de Scopus, 2022).

Ainda tomando-se como base o primeiro filtro de busca nas bases de artigos, apenas com a palavra açai, a leitura dos títulos e resumos dos resultados encontrados revelou que a grande maioria se propôs à análise da atividade antioxidante e exploração desse atributo no desenvolvimento de produtos para a vertente de cosméticos, alimentos, fármacos e suplementos nutracêuticos bem como matérias-primas para geração de fontes energéticas e de biomassa alternativas. Outra característica predominante foi o estudo da estabilidade dos pigmentos naturais para aplicação nos setores de alimentos e farmacêutico. Essa análise é aderente com a segmentação por área do conhecimento apresentada na Figura 22.

Outro aspecto relevante é o número de artigos publicados anualmente nesse período analisado (2002 – 2022). A partir das representações gráficas é possível observar um comportamento de crescimento nos artigos voltados ao tema do açai a partir de 2006 (Figura 23). Tal comportamento ascendente a partir desse ano pode ser explicado pelo crescimento do mercado do açai com o desenvolvimento de novos

cosméticos, compostos vitamínicos e itens alimentares. As pesquisas e elaboração desses tipos de produtos estão correlacionados pela presença de propriedades antioxidantes e energéticas do fruto, conforme enfatizado no estudo de Yamaguchi *et al* (2015).

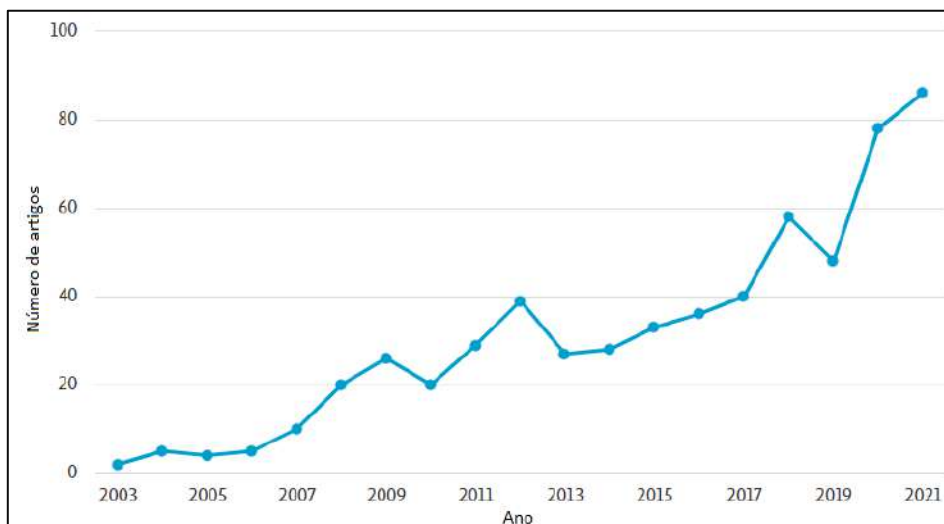


Figura 23 – Distribuição de artigos por ano dentro do período analisado a partir da estratégia de busca número 1 na Plataforma Scopus (Elaboração própria, adaptado de Scopus, 2022).

Em continuidade a fase de estudos iniciais, e como forma de direcionar e refinar os resultados de buscas, foram efetuadas as demais estratégias, uma de cada vez. À medida que aumentava a especificidade, o número de artigos encontrados passaram a ser cada vez menores.

Um aspecto interessante observado para a primeira estratégia de busca consistiu na presença de artigos voltados para a temática das embalagens. Um exemplo foi o trabalho realizado por Nogueira *et al.*, (2022), em que avaliou-se o efeito sobre a qualidade quanto a combinação entre a farinha de feijão e o extrato de açaí para embalagens biodegradáveis do azeite de oliva.

Ainda a respeito do primeiro grupo de busca, também foram observados documentos ligados à vertente da conservação do açaí, com o estudo de técnicas de pasteurização e análise microbiológica da polpa, visando a segurança para fins alimentícios.

Observou-se também, a avaliação do açaí para aplicação como biomassa em processos de fornecimento de calor e extração de coprodutos lignocelulosicos em aplicações nos alimentos e mercados medicinais.

Na segunda estratégia de busca, que englobou “*açaí AND film*”, foi explorada a capacidade antioxidante e antimicrobiana do açaí na formação de filmes plasticos. Dentre os resultados, pode-se mencionar o trabalho realizado por Pessanha *et al.*, (2018) que investigou o biopolímero constituído de amido reforçado com a polpa do açaí mediante análises da estrutura química e capacidade antioxidante.

Em relação a terceira metodologia de combinação entre as palavras-chaves, encontrou-se o trabalho desenvolvido por Romani *et al.*, (2022), cuja linha temática compreendeu a análise do desempenho físico e mecânico das embalagens produzidas a partir da adição de farinha de caroço de açaí em uma matriz biopolimerica de amido.

Na quarta estratégia de busca, assim como na quinta metodologia de associação das palavras-chaves, obteve-se documentos cujo assunto referem-se à avaliação dos efeitos sobre a qualidade quando utilizou-se o extrato de açaí nos filmes a base de amidos e a concepção de embalagens inteligentes capazes de monitorar o frescor dos frutos do mar pelas variações na pigmentação das antocianinas provenientes dos extratos de açaí.

Identificado os resultados nos artigos obtidos pela plataforma estudada, se partiu para uma plataforma de patentes para avaliação do foco em desenvolvimento de tecnologias nessa área. O número de documentos encontrados na temática deste trabalho foram escassos, demonstrando que as pesquisas que abrangem os resíduos do açaí para utilização na produção de embalagens apresenta-se incipiente e pouco explorado. Os quantitativos de documentos patentários identificados em cada uma das metodologias de busca estão representados na Tabela 5.



Tabela 5 - Estratégias de busca de patentes realizadas na plataforma Patent Inspiration.

Número da estratégia	Estratégia realizada	Número de patentes concedidas (2002 – 2022)*
1	No título ou resumo: açaí	116
2	Código CPC: B09B (Disposal of solid waste) AND título: film	19
3	Título: açaí AND Título e resumo: antioxidant	11
4	Título: açaí AND Título e resumo: biodegradable OR bioplastics AND Código CPC: B27N (Manufacture by dry process of articles, with or without organic binding agents, made from particles or fibers consisting of wood or other lignocellulosic or like organic mineral)	1

\* período especificado entre 01/01/2002 a 01/01/2022

A primeira estratégia de busca retornou resultados mais gerais sobre o açaí. Dentre eles, foi localizada uma patente de autoria de Damasceno (2022) que tratou do processo de produção de um composto biodegradável de borracha natural combinado com fibras vegetais residuais de produtos extrativos da floresta amazônica, como o açaí, o cupuaçu, o cacau, a castanha, o pracaxi, entre outros.

Ainda nesta vertente também foi observada a proposição por Pereira e Barbosa (2021) de uma tecnologia para desenvolvimento de um material alternativo à base da combinação homogênea entre caroço de açaí e argila para atender a indústria da construção civil.

Outra invenção relevante de autoria de Carmo, Passatore e Finocchio (2022) relacionou-se ao tema abordado neste trabalho com a criação de um compósito polimérico biodegradável que associou polibutileno de succinato à semente

despolpada de açaí para aplicação alternativa aos produtos plásticos como talheres, canudos, copos, canecas e embalagens por meio de processos de conformação mecânica como extrusão, injeção e compressão.

Essas três patentes mencionadas anteriormente possuem como detentores dessas tecnologias pessoas físicas. Por outro lado também foram visualizadas patentes publicadas por agências de pesquisa como o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, em que os autores Campos, Campos, Batista e Alves (2021) propuseram um estudo inovador da fabricação de um compósito biodegradável utilizando bagaço de açaí que combinou blendas poliméricas biodegradáveis e cargas de materiais lignocelulósicos.

De acordo com o observado pelos resultados alcançados nessas pesquisas iniciais, o aumento da especificidade da pesquisa fez com que o número de patentes fosse reduzido. Uma evidência disso é a diminuição considerável do número de patentes da primeira para a quarta estratégia. A combinação entre açaí, biopolímeros e o código CPC B27N, que remete à produção de fibras lignocelulósicas, retornou apenas um resultado. Outras estratégias de busca mais restritivas como a sequência de termos *“açaí AND biopolymer AND packaging”* e *“açaí AND biofilms AND packaging”* como também *“açaí AND biopolymer”* não retornaram resultados de patentes tanto publicadas quanto no âmbito concedidas.

A terceira estratégia, por exemplo, não apresentou documentos relacionados à vertente das embalagens, mas sim, observou-se o estudo da propriedade antioxidante do açaí para formulação de suplementos vitamínicos e alimentares, visando a contenção de radicais livres do organismo humano e, conseqüentemente, o surgimento de doenças degenerativas.

A patente encontrada pela quarta estratégia de busca foi de autoria de Ralph (2013) e trouxe como tecnologia a elaboração de um recipiente compostável e biodegradável formado a partir de fibras naturais isentos de reagentes químicos. Nessa invenção destaca-se o revestimento bioadesivo que é incorporado ao bioplástico na forma pulverizada pela técnica de laminação a quente ou termoformagem, sendo possível a obtenção de chapas semi-acabadas com diferentes espessuras, formas geométricas e dimensões.

Sobre o levantamento de empresas e instituições acadêmicas de pesquisa detentoras das tecnologias em relação ao uso do açaí sinalizadas na tabela 6 pode-se observar a figura 24, que exprime a quantidade de patentes concedidas por cada um dos agentes inovadores.

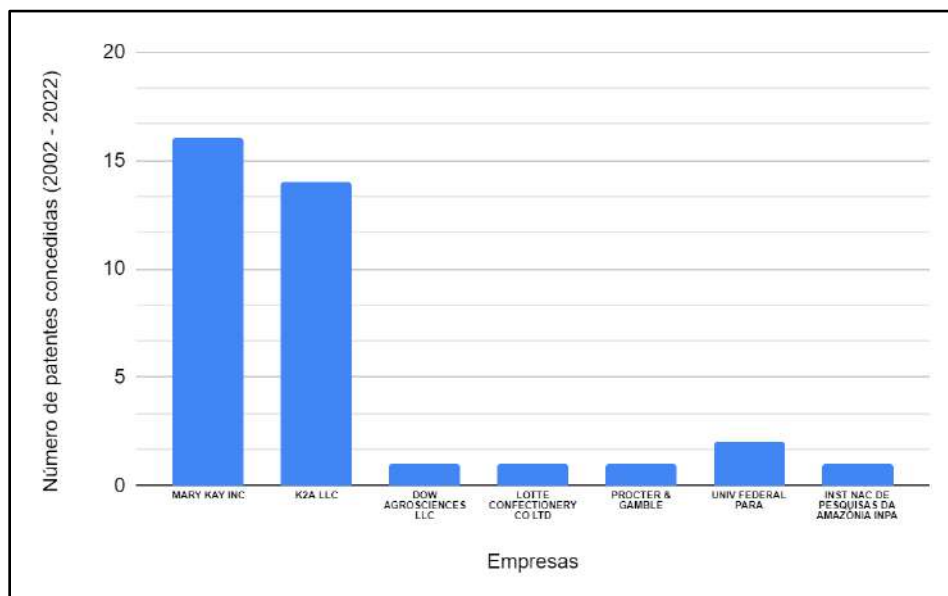


Figura 24 – Relação de patentes concedidas por empresas no período de 2002 a 2022 (Fonte – Elaboração própria a partir dos dados coletados na plataforma Patent Inspiration).

Conforme representação gráfica, destaca-se a atuação do segmento de cosméticos representado pela Mary Kay Inc tanto nos dados de patentes publicadas quanto concedidas. Dentre os documentos patentários de autoria dessa empresa observa-se a proposição de formulações para o tratamento cutâneo com extratos de alto poder antioxidante, combatendo os radicais livres decorrentes do envelhecimento.

Além disso, o mercado de suplementos alimentares também possui alta participação na publicação de patentes com a presença da K2A LLC, Power Seed Comércio e Representações Ltda e Lotte Confectionery Co Ltd.

A produção de soluções voltadas ao mercado farmacêutico foi representada pela *Procter & Gamble* (P&G) e Naning Pindi Biological Eng Co Ltd. A P&G é uma multinacional responsável pela criação de produtos voltados ao cuidado da saúde, higiene e do lar (P&G, 2022). A Naning Pindi é uma companhia chinesa detentora de 40 patentes distribuídas entre os nichos de química básica, farmacêutico e agricultura. Nas patentes pertencentes a essas empresas, verifica-se o enfoque em soluções para

terapias oncológicas e prevenção de inflamações respiratórias com formulações orais contendo açaí como um dos constituintes.

Outro ponto observado foi a presença de instituições de pesquisa da região norte do Brasil nos resultados alcançados, que explorou as propriedades alimentícias e colorantes do açaí, bem como melhorias no processo de fabricação da polpa. Esse dado vai ao encontro do que fora descrito no tópico de II.1.4 Produção e mercado, em que enfatizou a relevância de Estados como Pará e Amazonas como principais produtores de açaí.

Como mecanismo para reforçar a base documental para a análise da aplicação do açaí em embalagens, especificamente em biofilmes, resolveu-se prosseguir com a propeção tecnológica para a investigação sobre o desenvolvimento de tecnologias voltadas para a obtenção de biopolímeros. Posteriormente, na fase de análise crítica, os resultados encontrados na fase prospectiva foram comparados às propriedades e características do açaí.

Em continuidade a metodologia, a identificação das rotas tecnológicas de obtenção dos biopolímeros no segmento das embalagens também utilizou como referência a plataforma Scopus para análise de algumas informações gerais dos artigos, como: número de documentos por ano, país de origem e instituições de pesquisa acadêmica/pesquisa.

A partir desta estratégia de busca foram encontrados 360 documentos nas bases de artigos Scopus, seguindo os critérios de busca previamente definidos no item referente a Metodologia, o qual considerou palavras-chaves referentes aos biopolímeros e embalagens.

A Figura 25 abaixo sinaliza a evolução temporal de artigos publicados na temática de biopolímeros para embalagens de alimentos no decorrer do período analisado na plataforma Scopus.

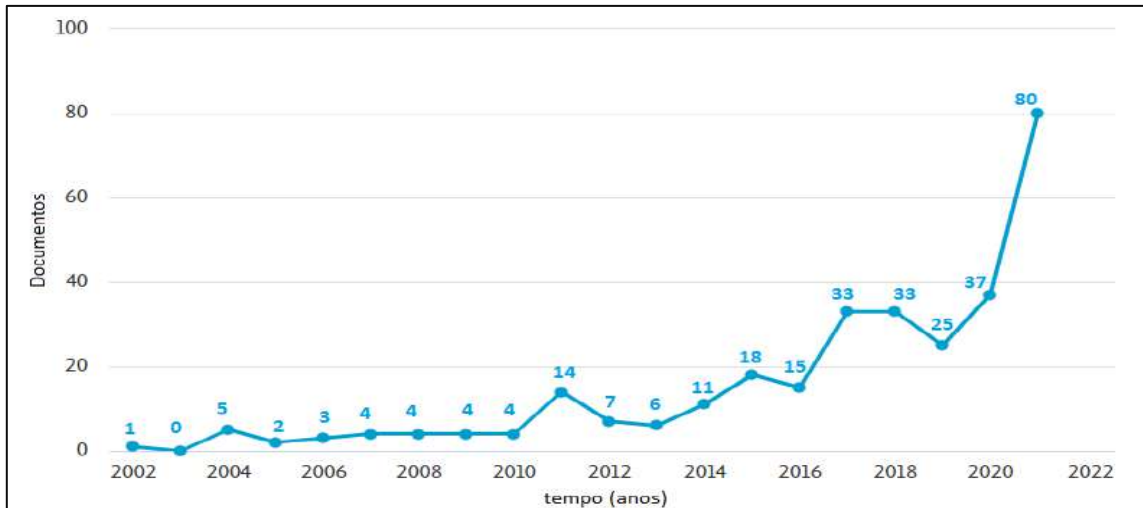


Figura 25: Evolução temporal da publicação de artigos científicos na plataforma Scopus – período 2002 a 2022 (Fonte: elaboração própria a partir da base de dados Scopus, 2022).

É possível perceber pela figura acima uma tendência de crescimento, especialmente entre 2013 a 2021. O pico mais elevado em 2021 pode estar relacionado à uma busca crescente pelo desenvolvimento de soluções que sejam menos danosas ao meio ambiente com a prospecção de tecnologias de produção de biopolímeros em substituição ao plástico convencional nas embalagens. Ainda assim, o tema parece ainda estar muito incipiente mas com boas perspectivas frente as preocupações atuais de sustentabilidade.

Na Figura 26 se apresentam os países de origem das publicações identificadas na Figura 25.

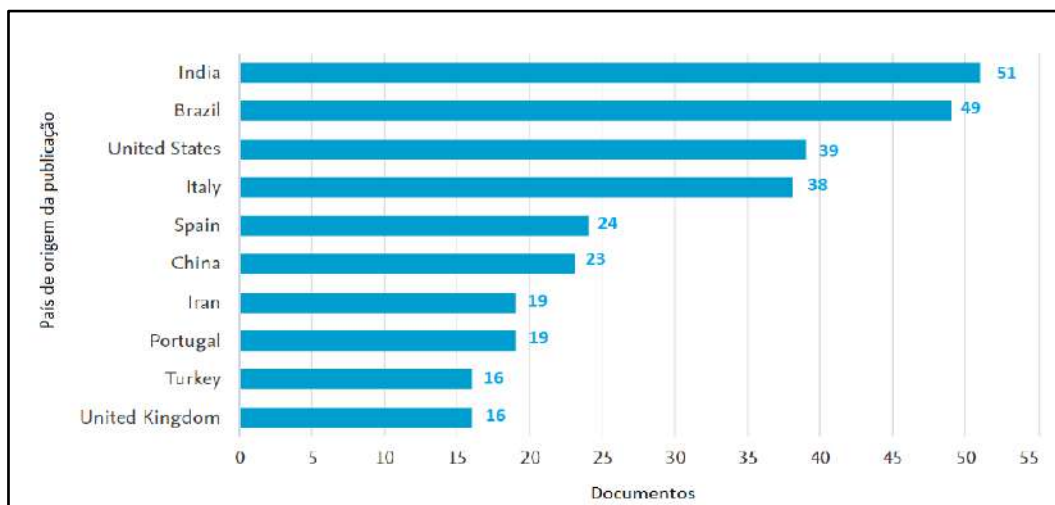


Figura 26: País de origem dos autores principais dos artigos encontrados entre 2002 a 2022 que seguem a temática deste estudo (Fonte: elaboração própria a partir da base de dados Scopus,2022).

Como pode ser observado, a Índia e a China, ambas do continente asiático, possuem interesse em pesquisa do setor de biopolímeros, o que reforça os dados de produção mundial de biopolímeros para o ano base de 2021 na Tabela 1 do tópico II.2.2 Produção e mercado de biopolímeros.

O Brasil, segundo colocado como produtor de artigos na área de biopolímeros, bem próximo a Índia, apresenta muitas pesquisas ligadas à temática deste trabalho, o que pode justificar este interesse na vertente de sustentabilidade em processos de produção de materiais plásticos. A grande maioria dos artigos publicados no Brasil são de autoria da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho e também da Agência Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), ambas com 7 documentos. Também se visualiza a presença da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Universidade de São Paulo (USP), Universidade Federal do Rio Grande e Embrapa Agroindustrial Tropical, com a publicação de mais do que 4 artigos na área.

Em relação às patentes, o mecanismo de pesquisa adotado foi aplicado na plataforma Patent Inspiration para observar o quanto este interesse se configura em desenvolvimento de tecnologias na área de biofilmes para embalagens alimentícias. Foi obtido um total de 13 patentes concedidas, o que correlacionada com o número de artigos publicados nesta área mostra a efetividade das pesquisas voltadas para o desenvolvimento de tecnologias comerciais.

A Figura 27 abaixo sinaliza a evolução temporal das patentes concedidas na temática de biopolímeros para embalagens de alimentos no decorrer do período avaliado.

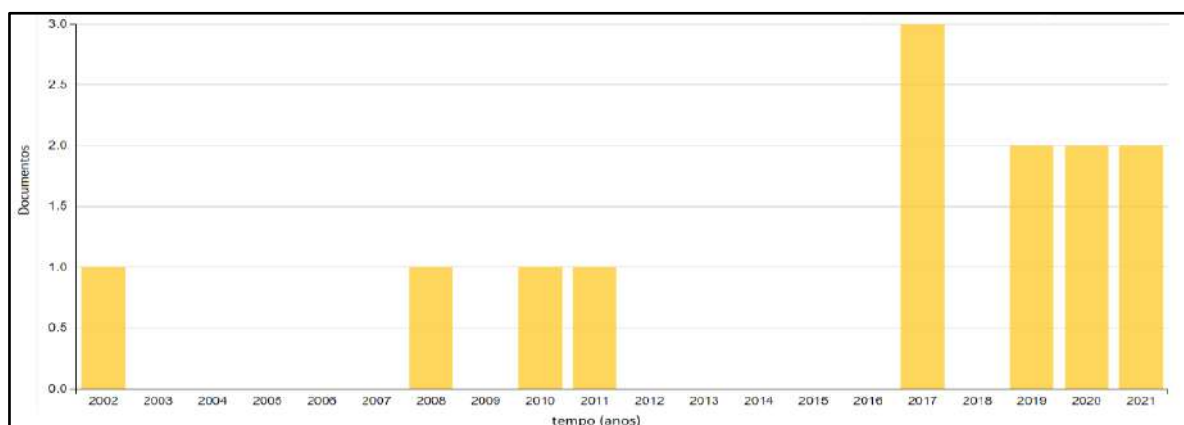


Figura 27 – Evolução temporal das patentes concedidas no período de janeiro/2002 a janeiro de 2022 (Fonte – Elaboração própria a partir dos dados da Plataforma Patent Inspiration).

A partir da análise do gráfico acima percebe-se que a partir de 2017, excluindo-se 2018, a existência de pelo menos 2 patentes sendo concedidas por ano. Assim como verificado nos artigos, percebe-se um esforço recente na pesquisa por biopolímeros, que pode ser explicado pela difusão do conceito de sustentabilidade na sociedade, principalmente em legislações e ações de conscientização focadas na redução da poluição ambiental.

Outro ponto de comparação refere-se a distribuição de patentes concedidas por país. De modo contrário aos artigos, em que verificou-se um alto número de documentos nos países do continente Asiático, Índia e China, na avaliação das patentes (Figura 28), os países Europeus, como Espanha e França, se sobressaíram.

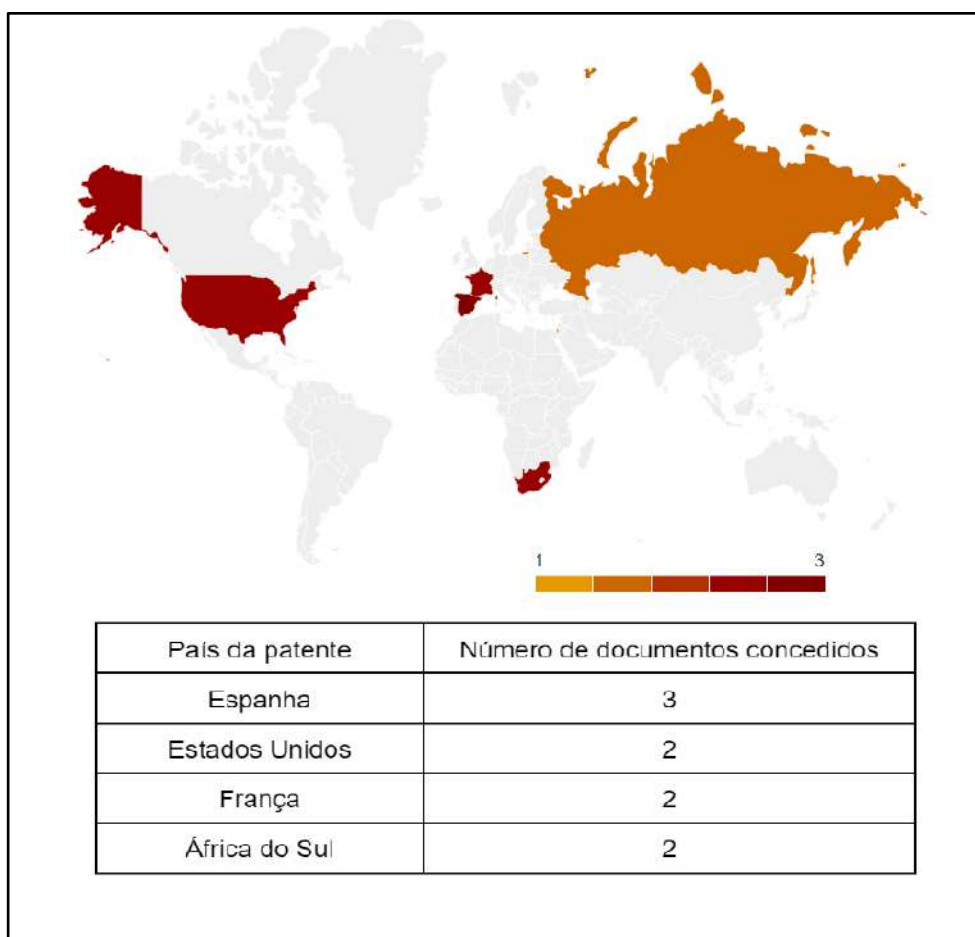


Figura 28 – País de origem dos autores principais dos artigos encontrados entre 2002 a 2022 que seguem a temática deste estudo (Fonte – Elaboração própria a partir do banco de patentes Patent Inspiration).

No que tange às instituições e associações corporativas detentoras das tecnologias, percebeu-se empresas do ramo de resinas, petroquímicos e indústria

química, representadas, nessa ordem, pela Pylote, Univ Stellenbosch, Cesco New Concept Products Inc e Cesco Solutions Inc.

A Figura 29, abaixo, foi extraída da parte de análise da plataforma Patent Inspiration e demonstra as empresas e instituições detentoras das invenções concedidas.



Figura 29 – Empresas detentoras das patentes concedidas entre 2002 e 2022 na temática do estudo (Fonte: Patent Inspiration, 2022).

### 4.3 – Análise crítica

As propriedades antioxidantes dos recursos naturais oriundos de vegetais e frutas são altamente vantajosas, uma vez que ajudam a reduzir a dependência de aditivos químicos sintéticos e estimulam o aproveitamento consciente de resíduos. Quando aplicado na conservação de alimentos, auxiliam no aumento do *shelf life*, segundo detalhado nos estudos encontrados nas etapas de pesquisas iniciais sobre o estado da arte e prospecção tecnológica.

No que se refere a adição de extratos e resíduos vegetais agroindustriais na formulação química de filmes biodegradáveis, ressalta-se a importância desses aditivos naturais no aprimoramento das propriedades físicas, mecânicas bem como influência na permeabilidade, na retenção de água e na solubilidade dos biofilmes.

De acordo com o que foi apresentado nos estudos de Martins *et al* (2008) e reforçado por Braga *et al*. (2021), uma vantagem das fibras do açaí, quando confrontadas com as demais fibras naturais utilizadas industrialmente na fabricação de compósitos, relaciona-se à estabilidade química e propriedades mecânicas aprimoradas.



O processo de extrusão é a metodologia produtiva comum de incorporação do aditivo natural nas matrizes biopoliméricas para a produção de embalagens ativas. Nesse método, a substância natural é misturada ao biopolímero termoplástico e alimentado na extrusora. Por outro lado, Moeini *et al*, 2021, ponderou que esse mecanismo apresenta desvantagens como não compatibilidade da alta temperatura com a instabilidade térmica e alta volatilidade dos compostos naturais.

No processo de mistura dos extratos da indústria do açaí, podendo os mesmos se encontrarem na forma de pós, granulados ou fibras, deve-se buscar analisar e compreender os efeitos da concentração desses materiais nas matrizes poliméricas. A dosagem em excesso pode desencadear a fraca coesão interfacial entre matriz e a camada de fibras e/ou caroços reciclados e, como consequência, influenciar nas propriedades mecânicas, propriedades físicas e físico-químicas do biopolímero.

A influência da dosagem de material reciclado foi uma temática explorada nos estudos de Braga *et al*. (2021) e Romani *et al*. (2021). Nos estudos efetuados por Romani *et al*, analisou-se o desempenho dos filmes de amido às diferentes concentrações de farinha formada pelo caroço do açaí e foi possível concluir que o teor mássico de 5% de farinha favoreceu uma microestrutura mais homogênea e uma estrutura polimérica mais coesa.

Outro parâmetro crítico na adição de componentes na forma física de pó ou grãos se deve à granulometria. Os pós com tamanhos de grão maiores apresentaram aspecto visual mais heterogêneo quando comparado àqueles com granulometrias menores, conforme estudo realizado por Luchese *et. al* (2018) a partir da adição da farinha de mirtilo aos bioplásticos de amido. Tal aparência pode ser caracterizada como impeditivo em aplicações comerciais que requererem filmes mais uniformes.

Existem técnicas que se destinam a promover a homogeneização de uma mistura sólida e com isso, garantir tamanhos de partículas menores e mais regulares. Um exemplo disso, é a técnica de ultrassom utilizada em escala de bancada no estudo desenvolvido por Pessanha *et. al* (2018). Nessa pesquisa foram avaliadas três amplitudes na etapa de ultrassom, sendo a maior delas (50% da amplitude nominal de conversão na frequência de 25 kHz), a mais efetiva na minimização da granulometria quando comparada às demais (12 e 25 m).

A coloração e opacidade dos filmes pode ser influenciada pela presença de compostos poli fenólicos e antocianinas, responsáveis por atribuir coloração avermelhada. Esses pigmentos naturais conseguem ser misturados à solução polimérica sem problemas de solubilização conforme análises feitas por Romani *et. al* (2021). Por mais que a presença dessas substâncias tragam a falta de transparência no aspecto visual das embalagens, a presença delas podem se mostrar fundamentais para a atribuição de propriedades antioxidantes bem como a criação de indicadores naturais de variação do pH, identificando a degradação do alimento com o passar do tempo.

O uso dos filmes formulados a base de açaí podem ajudar a detectar variações no pH uma vez que a degradação dos alimentos frescos, como carnes e frangos, estão relacionadas a variações nas faixas de pH. A forma de revestimento dos alimentos também interfere na variação da cor do filme, principalmente, quando o biofilme apresenta propriedades hidrofílicas e o contato direto com o alimento pode fazer com que absorva umidade, prejudicando o desempenho ao reconhecimento dos gradientes de pH. Tal aspecto foi avaliado no estudo realizado por Luchese *et. al* (2018), que observou a performance dos filmes de amido na presença dos resíduos do mirtilo.

Quanto ao reaproveitamento dos resíduos do açaí deve-se atentar para dois aspectos desafiadores no armazenamento e logística dos caroços, sendo eles: a contaminação por fungos/bolores e o risco de germinação. Essas variáveis estão ligadas ao alto teor de umidade retido no interior dos caroços, afetando a estabilidade microbiológica (BUFALINO *et al.*, 2018, *apud* BARBOSA; CARVALHO JUNIOR, 2021).

Em vista da alta perecibilidade do açaí, a aplicação de tratamentos térmicos que visam a retirada de umidade auxiliam na retardação da degradação e do ponto de vista comercial garantiria o estoque do insumo de forma segura. No entanto, deve-se levar em consideração a sensibilidade dos componentes bioativos (como polifenóis e antocianinas) quando submetidos aos elevados aquecimentos, devido a importância deles nos fatores funcionais do açaí como capacidade antioxidante e antimicrobiana.

A rápida degradação pode ser amenizada a partir de técnicas voltadas ao encapsulamento dos extratos do açaí, garantindo barreira física contra a deterioração, contaminação e perda de efetividade das substâncias bioativas antioxidantes em

condições de temperaturas extremas. Uma dessas técnicas avaliadas pelo estudo de Buratto *et. al* (2021), compreendeu ao anti-solvente supercrítico (SAS), a qual consiste na micronização uniforme dos produtos de origem natural a partir da solubilização em solventes, garantindo a exposição ao meio adverso com temperaturas altas e tamanhos de partículas mais uniformes quando comparado à outras alternativas de atomização como o *spray dryer* e *vaccum dryer*.

Outra avaliação importante a ser feita na formulação dos filmes a partir do açaí está relacionada à estabilidade e quantificação das antocianinas no decorrer do processo, visto que influenciam diretamente na capacidade antioxidante e no desempenho funcional do filme produzido.

Nos estudos efetuados por Pessanha *et. al* (2018), a detecção das antocianinas foi quantificada a partir de técnicas cromatográficas na região do UV Visível. O cromatograma gerado nessa análise pode ser visto na Figura 30 abaixo, em que o primeiro e o segundo picos referem-se, respectivamente, ao cianidina-3-O-glicosídeo e cianidina-3-O-rutenosídeo, correspondendo aos tipos de antocianinas mais predominantes no açaí . Tal evidência experimental reafirma os dados da literatura encontrados por Dias *et. al*, 2012.

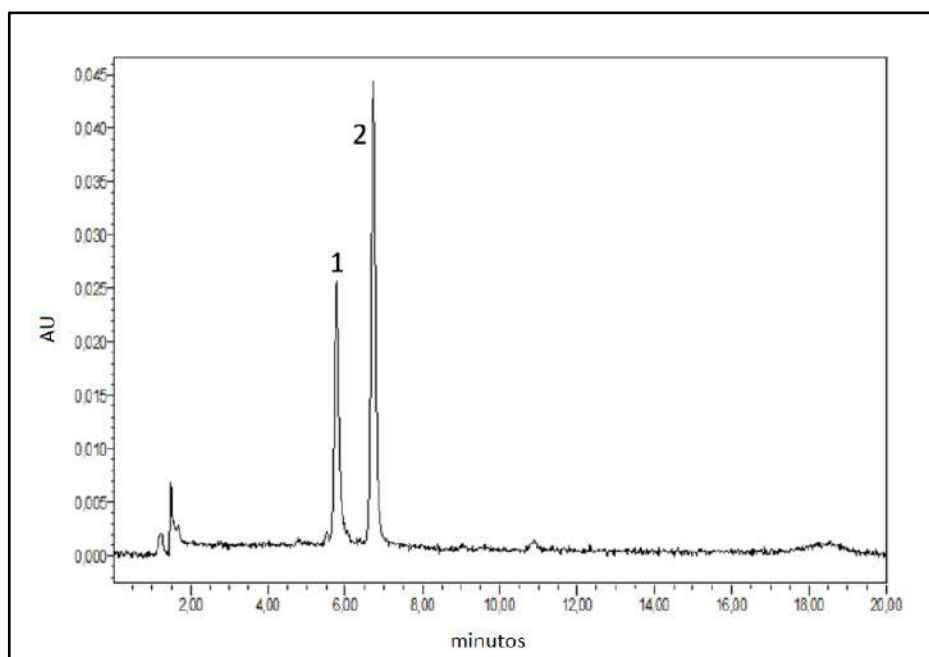


Figura 30 – Cromatograma da técnica cromatográfica do UV Visível do extrato liofilizado do açaí, mostrando o perfil qualitativo e quantitativo das antocianinas (Fonte: adaptado de Pessanha *et. al*,2018).

A definição das matérias-primas fontes para a elaboração dos biofilmes é crucial para a proposição da rota tecnológica de produção das embalagens biopoliméricas com a adição dos extratos não utilizados do açaí. Isto ocorre porque diferentes bioplásticos provenientes de uma mesma classe de substâncias podem apresentar desempenho e características distintas. Isso foi observado para os filmes de polissacarídeos nos estudos de Bangyekan *et al* (2006). Nesse artigo, amostras de filmes de amido foram revestidas com quitosana, por esse último material apresentar excelentes propriedades físicas e mecânicas capazes de superar a fragilidade e aspecto quebradiço do amido.

A tabela abaixo apresenta alguns biopolímeros naturais e suas respectivas características:

Tabela 6 –Processos de produção de alguns biopolímeros na literatura.

Biopolímero	Metodologias de produção	Fontes
amido	Os filmes de amido termoplásticos são obtidos pela homogeneização dos grãos de amido associado com a adição de plastificantes. Os plastificantes mais utilizados são glicerol, monoestereato de glicerol, glicol, sorbitol, xilitol, polissacarídeos e lipídios, os quais auxiliam a superar a fragilidade do filme e aprimorar a flexibilidade. <sup>(2)</sup>	PLACKETT, 2011. <sup>(2)</sup>
PCL Policaprolactona	Obtido sinteticamente a partir da polimerização por abertura de anel da molécula precursora de $\epsilon$ -caprolactona. <sup>(1)(2)</sup>	FRANCIS; SASIKUMAR; GOPALAN, 2013. <sup>(1)</sup> NAIR et al., 2016. <sup>(2)</sup>
PHB Poli(3-hidroxi- butirato)	A produção industrial ocorre a partir da fermentação bacteriana, que pode ser contínua ou batelada. <sup>(1)</sup>  Uma grande variedade de espécies de bactérias podem ser utilizadas nessa rota de produção, sendo elas: <i>Azotobacter</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Archaeobacteria</i> , <i>Methylobacteria</i> , <i>Pseudomonas</i> . <sup>(2)</sup>	MCADAM et al., 2020. <sup>(1)</sup> RATHORE, 2014. <sup>(2)</sup>

PLA poli(ácido glicólico)	O PLA é obtido a partir da polimerização do ácido láctico. Por sua vez, o ácido láctico pode ser obtido a partir da fermentação dos carboidratos em um processo que gera a formação de estereoisômeros. <sup>(1)</sup>  Outra forma de produção do PLA tem como intermediário o lactídeo gerado a partir da combinação entre os estereoisômeros e por fim, ocorre a polimerização por abertura do anel para formar o polímero. <sup>(2)</sup>	SHRIVASTAVA; DONDAPATI, 2021. <sup>(1)</sup> AURAS; HARTE; SELKE, 2003. <sup>(2)</sup>

Descrita de modo geral na tabela acima, a metodologia de produção dos biofilmes seguem condições físicas e químicas de processo bem específicas para cada uma das diferentes categorias de polímeros.

Desta parte do trabalho em diante foi efetuado um estudo de caso, visando o desenvolvimento de uma proposta de embalagem viável com açaí utilizando sua incorporação em biopolímeros de amido e PLA já usualmente utilizados para este fim.

Na produção do PLA pela via do ácido láctico, por exemplo, a policondensação ocorre com a destilação da água de condensação na presença ou ausência de catalisador, em conjunto com o controle do vácuo e da temperatura. Sob outra perspectiva, na produção pelo intermediário lactídeo, essa molécula cíclica passa por purificação no processo de destilação à vácuo na presença de aquecimento sem a presença de solvente.

Ainda em relação à síntese do PLA, a rota tecnológica a partir do lactídeo, conforme destacado por Metha *et. al* (2006), tem como fator crucial a purificação desse intermediário que interfere consequentemente na distribuição de tamanhos e pesos do polímeros.

Outro ponto que interfere na característica dos filmes de PLA gerados compreende ao tipo de monômero, visto que o ácido láctico possui estereoisômeros dextrógiros (l-lático), levógiros (d-lático) e a forma meso. Segundo Metha *et. al* (2006), a distribuição desses estereoisômeros pode influenciar na cristalinidade do polímero,

por causa da forma dextrógira resultar em cadeias amorfas enquanto as formas levógiras contribuem para o aumento da cristalinidade.

No caso específico do PLA, anteriormente à etapa de conformação na extrusora, o biofilme precisa passar pela retirada da umidade a fim de evitar a hidrólise e, por conseguinte, a perda de peso molecular. Conforme descrito por *Lim et. al* (2008), temperaturas de 40°C requerem um tempo de secagem igual a 4 horas e favorecem a formação de cadeias mais desorganizadas na fase amorfa, enquanto que temperaturas entre 50°C e 100°C necessitam de tempos menores e, de modo inversamente proporcional, menores tempos.

Correlacionando-se o processo do PLA com a viabilidade industrial, pode-se perceber parâmetros críticos como temperatura, tempo, tipo de monômero utilizado e tecnologia produtiva (via ácido láctico ou via lactídeo) interferem diretamente na qualidade do polímero produzido. No âmbito da secagem do PLA previamente ao mecanismo de extrusão, embora tempos menores sejam vantajosos por causa da produtividade deve-se atentar para a interferência do aumento da temperatura e do grau de cristalinidade nas propriedades reológicas, físicas e mecânicas, principalmente na redução da viscosidade e resistência à tensão.

Em vista do aspecto analisado anteriormente, que compreende a mistura dos resíduos do açaí na matriz do poli(ácido láctico), uma metodologia de inclusão desses componentes na matriz biopolimérica poderia ser por compressão com o controle da temperatura conforme mencionado no estudo de Shrivastava & Dondapati (2021).

Por sua vez, o biofilme de amido é frágil e fraco, levando a uma mecânica inadequada de propriedades. Superar a fragilidade do filme pode ser realizado pela adição de plastificantes. A força da interação entre as moléculas de glicerol e as cadeias de amido e, conseqüentemente, a dureza e resistência dos materiais depende da concentração de plastificante utilizado conforme observado por Plackett *et. al*, 2011.

Ainda em relação aos filmes de amido, os trabalhos de Romani *et. al* (2021) indicaram que a adição de uma concentração baixa de açaí favoreceu o aumento da temperatura de transição vítrea (Tg) do polímero, fazendo com que maior energia térmica fosse empregada para a mobilidade das cadeias amorfas. O mesmo

comportamento pode ser observado pela adição de glicerol, conforme Figura 31 adaptada dos estudos de Plackett *et. al* (2011).

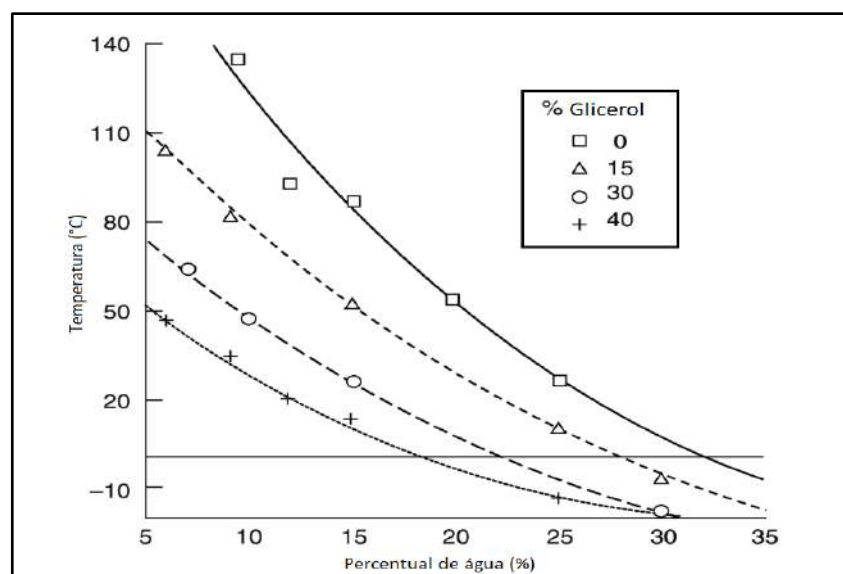


Figura 31 – Comportamento da temperatura de transição vítrea (Tg) do amido com a variação de água e glicerol (Fonte: adaptado de Plackett *et. al*, 2011).

Verificou-se que o filme de amido não plastificado absorve menos água do que os grânulos de amido nativo. A hidratação de filmes de amido plastificado depende da natureza e quantidade de plastificante. A ligação da água ao filme de amido influencia suas propriedades termomecânicas. As isotermas de sorção de água são a melhor ferramenta para controlar o nível de hidratação dos filmes de polissacarídeo plastificado (GODBILLOT *et al.*, 2006).

A nível de processo, a combinação entre resíduos da indústria do açaí nos filmes de amido pode resultar em materiais com alta capacidade de retenção de água. Essa característica do ponto de vista da conservação de alimentos não seria benéfica. Tendo em vista tal aspecto, a nanotecnologia com a formulação de micropartículas de açaí auxiliaria na otimização do amido sem interferir na permeabilidade.

Como forma de garantir a estabilidade das nanoemulsões, deve-se avaliar individualmente a tensão interfacial das diferentes substâncias constituintes, que no caso do açaí a presença de teores de aminoácidos (ROGEZ *et. al*, 2000) capazes de estabilizar a emulsão formada.

Quanto ao açaí, a presença de antocianinas se mostra uma vantagem por causa das propriedades bioativas e antioxidantes, mas ao mesmo tempo torna-se um desafio a formulação de filmes com resíduos dessa fruta. Nesse sentido, uma barreira deve-se à reatividade e degradação das antocianinas durante o processo, cujo motivo está relacionado a estrutura química aromática com ligantes polares (hidroxilas, carboxilas e metoxilas) e deficiência de elétrons (RABELO et al., 2018).

Além disso, diferentemente dos pigmentos e antioxidantes sintéticos, esses compostos de origem natural como antocianinas e polifenóis têm maior susceptibilidade em condições de aquecimento intenso, aumento da pressão e estresse ambiental.

No caso específico das antocianinas, Buratto *et. al* (2021) avaliou que temperaturas maiores do que 60°C possibilitaram a rápida degradação desse biocomposto. Os estudos de Rabelo *et. al* (2018) também chegaram a resultados semelhantes e enfatizaram que temperaturas maiores do que 90°C traziam a instabilidade das antocianinas, e portanto, tecnologias de encapsulamento por nanoemulsões tornam-se alternativas válidas para viabilizar a aplicação industrial e garantir a estabilidade frente às alterações bruscas nas condições operacionais.

Outro método tecnológico com a finalidade de garantir a estabilidade das substâncias bioativas do açaí (antocianinas e polifenóis) também foi mencionada na pesquisa de Buratto *et. al* (2021). Neste trabalho o método foi a extração assistida por microondas (MAE) que consiste em um método de pré-tratamento da maceração que necessita de pouco tempo para alcançar o máximo rendimento da extração das substâncias de interesse.

Ainda nessa vertente de conservação das propriedades funcionais e nutrientes do açaí, Oliveira *et. al* (2020), Pessanha *et. al* (2018) e Schauss *et. al* (2006), estudaram o método de liofilização, que consiste em um pré-tratamento de secagem de alimentos no qual o açaí é submetido a sublimação a vácuo em baixas temperaturas entre -20°C e -40°C. A partir dessa metodologia, esses estudos alcançaram satisfatórios resultados para a preservação dos valores nutricionais e poder antioxidante.



Conforme realizado por Schauss *et. al* (2006) o acompanhamento da capacidade antioxidante total ocorreu por meio dos ensaios de medição da absorbância dos radicais de oxigênio em fluoresceína (Oxygen Radical Absorbance Capacity – ORAC). Tal metodologia frente às demais avaliações do desempenho antioxidante demonstrase vantajosa por mostrar-se menos passível à interferência dos compostos coloridos presentes na amostra.

Além desse tipo de análise da propriedade antioxidante, outra alternativa detalhada por Pessanha *et. al* (2018), compreende ao ensaio baseado na habilidade dos antioxidantes em capturar o radical catiônico 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) ou ABTS<sup>+</sup> quantificada a partir de um decréscimo na absorbância no decorrer do tempo.

Quanto à comparação entre os métodos ORAC e ABTS<sup>+</sup>, o primeiro deles apresentou maior capacidade de avaliação de um maior número de compostos antioxidantes e alta especificidade para as antocianinas. Tal conclusão foi percebida pelos estudos de Pessanha *et. al* (2018) e Silva *et. al* (2007).

O reaproveitamento das fibras lignocelulósicas do açaí para o reforço dos bioplásticos também deve ser experimentalmente analisado com a adição de agentes modificadores do processamento ou operações de secagem antes da fabricação devido à natureza hidrofílica e higroscópica (MARINELLI *et al.*, 2008). No caso da presença de umidade no interior dessas fibras poderá contribuir para a liberação de vapores durante o processamento, e tal comportamento durante a injeção dos filmes traria defeitos estruturais e mecânicos nos filmes pelo aprisionamento de bolhas de ar.

Outro fator a ser avaliado na utilização das fibras do mesocarpo do açaí compreende a aplicação de tratamentos adequados para a redução de compostos indesejáveis como ligninas e hemiceluloses que podem levar à diminuição do grau de cristalinidade e redução da viscosidade da solução polimérica (BRAGA *et. al*, 2019). Como forma de tratamentos existem os de natureza química e enzimática, sendo este último mais vantajoso pela ausência de solventes e reagentes químicos.

No caso das fibras naturais, elas constituem misturas de materiais orgânicos e possuem características vantajosas como biodegradabilidade, pouca abrasividade

além de baixa densidade, garantindo a aplicabilidade na produção de compósitos de matriz polimérica, os quais, requerem estudos de estabilidade térmica, adesão/coesividade superficial e avaliação da interação química para assegurar a qualidade e desempenho dos materiais (SAHEB; JOG, 1999).

Com base em todo o exposto pode-se propor como uma rota tecnológica para obtenção da embalagem constituída pelo filme de biopolímero formulado a partir dos resíduos da cadeia produtiva do açaí uma metodologia que englobe o pré-tratamento dos resíduos do açaí com a maceração e secagem para garantir um teor de umidade que não prejudique o desempenho e a interação com a matriz polimérica. A secagem deve ser realizada sob temperatura controlada (baixo da faixa entre 60°C e 90°C) com o objetivo de evitar a degradação das antocianinas. Além disso, a granulação dos pós obtidos devem ser analisados experimentalmente uma vez que a granulometria interfere no desempenho físico e mecânico dos biofilmes. Por fim, a compressão seria uma alternativa para a conformação dos filmes, por causa da sensibilidade térmica das substâncias bioativas naturais, como as antocianinas. A Figura 32, abaixo, ilustra o fluxograma do processo proposto.

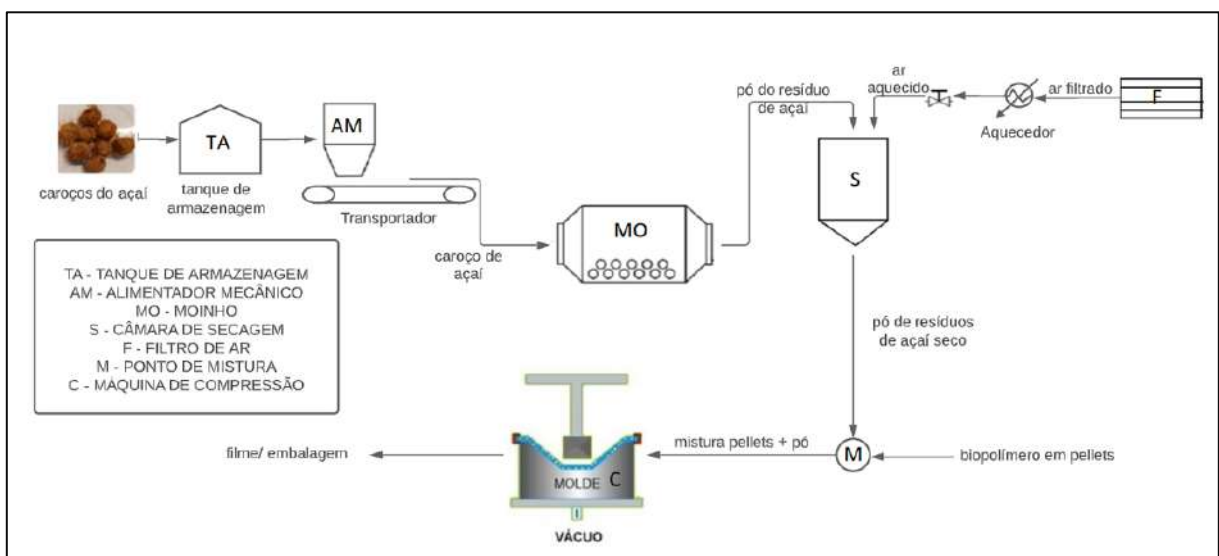


Figura 32 – Fluxograma do processo proposto para a produção das embalagens biodegradáveis(Fonte: elaboração própria a partir do aplicativo Lucidchat).

Face ao exposto no decorrer dos itens de análise crítica e estudo de caso do trabalho pode-se observar alguns parâmetros controladores do processo, dentre os quais: temperatura, umidade e granulometria. A temperatura demonstra-se crucial uma vez que o produto fabricado envolve o emprego de insumos naturais a base de

açaí, os quais apresentam sensibilidade quando submetidos ao fornecimento de calor. Por sua vez, a granulometria pode interferir no aspecto físico e na coesão interfacial do biofilme gerado. E por fim, a umidade mostra-se uma variável importante visto que os caroços e fibras de açaí possuem água em sua estrutura e portanto, dependendo da cadeia química e a hidrofiliabilidade do biopolímero poderia resultar em uma embalagem com falha na permeabilidade à água e ao vapor d'água.

Além disso, entende-se que existam processos de conformação de bioplásticos com maior taxa de produção, como seria o caso da extrusão. Entretanto, por esta metodologia de fabricação envolver altas temperaturas inviabilizaria a adição de compostos naturais, visto que poderia ocorrer perda da funcionalidade da propriedade de interesse. Além disso, acreditasse que, por se tratar de uma embalagem inteligente, a demanda poderia ser atendida com a técnica de compressão para a formação da embalagem sugerida.

## Capítulo 5 Conclusão

O estudo bibliográfico conduzido em bases de artigos e patentes foi suficiente para a aquisição de conhecimentos sobre: as propriedades do açaí, para o mapeamento de suas propriedades físicas e mecânicas, para identificação das propriedades necessárias para garantir o desempenho de uma embalagem utilizada no mercado de alimentos, a fim de assegurar a segurança alimentar e para o entendimento do estado da arte sobre o assunto estudado.

Considerando as informações bibliográficas levantadas sobre a formação do filme biodegradável e dos processos de transformação identificados na propeção tecnologica sobre bioplásticos foi possível propor uma rota tecnológica para ser testada para a obtenção da embalagem constituída pelo filme de biopolímero formulado a partir dos resíduos da cadeia produtiva do açaí.

Com base em tudo que foi analisado neste trabalho, pode-se afirmar que a incorporação do açaí nos biopolímeros para produção de embalagens alimentícias demonstra-se promissora, no entanto requer mais investimento em linhas de pesquisas e desenvolvimento que sejam focadas na compreensão experimental quanto à aplicabilidade das embalagens, a partir de estudos com lotes laboratoriais e piloto.

Os biopolímeros trazem benefícios para o desenvolvimento sustentável com a redução da utilização de polímeros de origem fósseis. Em complemento a isso, a descoberta de novos usos para o resíduo de açaí reforçam a economia circular e fomentam ganhos para o meio ambiente, indústria e sociedade.

Vale ainda destacar que o fluxograma obtido como resultado apresentou aspectos positivos como maior geração de valor econômico e competitividade à indústria produtora de açaí; menor desperdício e mitigação do descarte inadequado de resíduos sólidos; aproveitamento das propriedades antioxidantes e antimicrobianas para novas aplicações na indústria e redução dos aditivos e solventes químicos nas embalagens de alimentos.

Portanto, o estudo reforça a importância da elaboração de estratégias pela indústria, comunidade acadêmica e sociedade que otimizem o uso consciente e

eficiente dos recursos naturais, reduzindo o montante de resíduos sólidos gerados, associando os conceitos de economia circular e sustentabilidade.

## Capítulo 6 Sugestões para trabalhos futuros

Tendo em vista a possibilidade de trabalhos futuros serem desenvolvidos nesta temática sugiro os seguintes pontos de recomendação:

- Avaliar experimentalmente, em ensaios de bancada e testes industriais, o desempenho e a qualidade dos filmes obtidos a partir da adição dos resíduos de açaí em diferentes biopolímeros, de modo a analisar as características da composição química, propriedades físicas e mecânicas;
- Monitorar e estudar controles eficazes de variáveis físicas do processo de fabricação, como a temperatura, umidade e granulometria dos insumo, como forma de assegurar a qualidade da embalagem;
- Efetuar testes em campo com protótipos a fim de observar de modo prático a performance a longo prazo da embalagem na preservação do alimento;
- Estudar o desenvolvimento da produção da embalagem biodegradável a partir da aplicação de outros métodos prospectivos, avaliando tendências tecnológicas restrito aos últimos 5 anos, com o objetivo de acompanhar constantemente as tecnologias em evolução;
- Realizar análise econômica de um projeto piloto, como forma a avaliar a viabilidade de implementação das tecnologias de fabricação das embalagens desenvolvidas, considerando fatores como a localização da planta produtiva e os custos da tecnologia.

## Capítulo 7 Referências Bibliográficas

ABRE. Estudo abre macroeconômico da embalagem e cadeia de consumo 2021. Disponível em: <https://www.abre.org.br/dados-do-setor/2021-2/#:~:text=Os%20destaques%20foram%20o%20setor,%2C1%25%20respectivamente%20nas%20exporta%C3%A7%C3%B5es..> Acesso em: 13 ago. 2022.

AURAS, Rafael; HARTE, Bruce; SELKE, Susan. Effect of water on the oxygen barrier properties of poly(ethylene terephthalate) and polylactide films. **Journal of Applied Polymer Science**, [s. l.], v. 92, n. 3, p. 1790–1803, 2004. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app.20148>.

BAN, Weiping *et al.* Influence of Natural Biomaterials on the Elastic Properties of Starch-Derived Films: An Optimization Study. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, [s. l.], v. 45, n. 2, p. 627–633, 2007. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ie050219s>.

BANGYEKAN, Cholwasa; AHT-ONG, Duangdao; SRIKULKIT, Kawee. Preparation and properties evaluation of chitosan-coated cassava starch films. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 63, n. 1, p. 61–71, 2006. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861705003310>.

BARBOSA, Jhonatas Rodrigues; CARVALHO JUNIOR, Raul Nunes de. Food sustainability trends - How to value the açaí production chain for the development of food inputs from its main bioactive ingredients?. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 124, p. 86–95, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224422001273>.

BRAGA, Dayse. Tratamentos químicos das fibras do mesocarpo de açaí para a produção de filmes de nanocelulose e nanocompósitos de quitosana. Orientador: Lina Bufalino. 62 f. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2019.

BRAGA, Dayse Gonzaga *et al.* Cellulose nanostructured films from pretreated açaí mesocarp fibers: physical, barrier, and tensile performance. **CERNE**, [s. l.], v. 27, 2021. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-77602021000100703&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-77602021000100703&tlng=en).

BRIGHAM, Christopher. Biopolymers. *In: GREEN CHEMISTRY*. [S. l.]: Elsevier, 2018. p. 753–770. *E-book*. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128092705000273>.

BUCCI, D.Z.; TAVARES, L.B.B.; SELL, I. PHB packaging for the storage of food products. **Polymer Testing**, [s. l.], v. 24, n. 5, p. 564–571, 2005. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0142941805000334>.

BUFALINO, Lina *et al.* Local variability of yield and physical properties of açai waste and improvement of its energetic attributes by separation of lignocellulosic fibers and seeds. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, [s. l.], v. 10, n. 5, p. 053102, 2018. Disponível em: <http://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.5027232>.

BURATTO, Rafaella T. *et al.* Formulation of açai (E. oleracea Mart.) Pulp and seeds extracts by co-precipitation in Supercritical Antisolvent (SAS) technology. **The Journal of Supercritical Fluids**, [s. l.], v. 169, p. 105090, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0896844620303417>.

CAMPOS, José Paulo Cordeiro; CAMPOS, Luan Vieira Brito de; BATISTA, Lucas Corrêa; ALVES, Simone. **Compósito biodegradável usando bagaço de açai e seus processos de fabricação**. Depositante: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro. BR n. BR 102019021120A2. Depósito: 7 out. 2019. Concessão: 19 abr. 2021.

CARMO, Marcel Campos do; PASSATORE, Cláudio Roberto; FINOCCHIO, Henrique. **Compósito polimérico biodegradável à base de polibutileno de succinato (pbs) e semente despulpado (caroço) de açai (euterpe oleracea mart)**. BR n. BR 102020003652A2. Depósito: 11 jun. 2019. Concessão: 24 jan. 2022.

CASTRO, Clívia Danúbia Pinho da Costa; DIAS, Carmen Gilda Barroso Tavares; FARIA, José de Assis Fonseca. Production and evaluation of recycled polymers from açai fibers. **Materials Research**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 159–163, 2010. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-14392010000200007&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14392010000200007&lng=en&tlng=en).

CAZÓN, Patricia; VÁZQUEZ, Manuel. Mechanical and barrier properties of chitosan combined with other components as food packaging film. **Environmental**



**Chemistry Letters**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 257–267, 2019. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10311-019-00936-3>.

CHENG, Hao *et al.* Recent advances in intelligent food packaging materials: Principles, preparation and applications. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 375, p. 131738, 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814621027448>.

COSTA, Henrique C.B.; SILVA, Danylo O.; VIEIRA, Luiz Gustavo M. Physical properties of açai-berry pulp and kinetics study of its anthocyanin thermal degradation. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 239, p. 104–113, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877418302887>.

CUI, Congli *et al.* Bioactive and intelligent starch-based films: A review. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 116, p. 854–869, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224421005112>.

DAMASCENO, Maria Zelia Machado. **Processo de produção de composto de borracha natural com fibras vegetais residuais e produto fabricado**. BR n. BR 112021025122A2. Depósito: 11 jun. 2019. Concessão: 24 jan. 2022. Patent Inspiration, 2022.

DE LIMA, A. C. P. et al. Physicochemical characterization of residual biomass (seed and fiber) from açai (Euterpe oleracea) processing and assessment of the potential for energy production and bioproducts. *Biomass Conversion and Biorefinery*, v. 11, n. 3, 2021.

DEL POZO-INSFRAN, David; BRENES, Carmen H.; TALCOTT, Stephen T. Phytochemical Composition and Pigment Stability of Açai (Euterpe oleracea Mart.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 52, n. 6, p. 1539–1545, 2004. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf035189n>.

DIAS, A.L.S. *et al.* A rapid validated UHPLC–PDA method for anthocyanins quantification from Euterpe oleracea fruits. **Journal of Chromatography B**, [s. l.], v. 907, p. 108–116, 2012. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1570023212005351>.

DHALL, Rajinder K.; ALAM, Mohammed S. Biodegradable Packaging. *In*:

ENCYCLOPEDIA OF RENEWABLE AND SUSTAINABLE MATERIALS. [S. l.]: Elsevier, 2020. p. 26–43. *E-book*. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128035818115164>.

ESPITIA, Paula J. Pérez *et al.* Optimal antimicrobial formulation and physical–mechanical properties of edible films based on açai and pectin for food preservation. **Food Packaging and Shelf Life**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 38–49, 2014. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214289414000477>.

EUROPEAN BIOPLASTICS. Bioplastics market data. Disponível em: <https://www.european-bioplastics.org/market/>. Acesso em: 20 jun. 2022.

FERREIRA, Samuel F. *et al.* Waste management and bioenergy recovery from açai processing in the Brazilian Amazonian region: a perspective for a circular economy. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 37–46, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bbb.2147>.

FORTUNE BUSINESS INSIGHTS, 2021. Market Research Report. Disponível em: <<https://www.fortunebusinessinsights.com/enquiry/request-sample-pdf/food-packaging-market-101941> >. Acesso em: 10 de junho de 2022.

FRANCIS, Raju; SASIKUMAR, Soumya; GOPALAN, Geethy P. Synthesis, Structure, and Properties of Biopolymers (Natural and Synthetic). *In*: POLYMER COMPOSITES. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2013. p. 11–107. *E-book*. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527674220.ch2>.

GODBILLOT, L *et al.* Analysis of water binding in starch plasticized films. *Food Chemistry*, [s. l.], v. 96, n. 3, p. 380–386, 2006. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814605004619>.

GORDON, André *et al.* Chemical characterization and evaluation of antioxidant properties of Açai fruits (*Euterpe oleraceae* Mart.) during ripening. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 133, n. 2, p. 256–263, 2012. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814612000179>.

HAN, Jung H.; HO, Colin H.L.; RODRIGUES, Evangelina T. Intelligent packaging. *In*: INNOVATIONS IN FOOD PACKAGING. [S. l.]: Elsevier, 2005. p. 138–155. *E-book*.

Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123116321500413>.

HEINRICH, Michael; DHANJI, Tasleem; CASSELMAN, Ivan. Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). **Zeitschrift für Phytotherapie**, [s. l.], v. 33, n. 03, p. 140–150, 2012. Disponível em: <http://www.thieme-connect.de/DOI/DOI?10.1055/s-0032-1309259>.

IBAMA. **Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) - Lei nº 12.305/2010**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/residuos/controle-de-residuos/politica-nacional-de-residuos-solidos-pnrs>. Acesso em: 10 jun. 2022.

IBGE. (2014). Sistema IBGE de recuperação automática (SIDRA) - Censo Agropecuário. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*.

INÁCIO, Maria Raquel Cavalcanti *et al.* Total anthocyanin content determination in intact açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) and palmitero-juçara (*Euterpe edulis* Mart.) fruit using near infrared spectroscopy (NIR) and multivariate calibration. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 136, n. 3–4, p. 1160–1164, 2013. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814612014495>.

Instituto Nacional da Propriedade Industrial. **IPC/CPC**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/patentes/classificacao>. Acesso em: 11 ago. 2022.

IPEA. Economia circular: comunidade amazônica dá exemplo de sustentabilidade socioambiental, 2021. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/noticias/noticias/289-economia-circular-comunidade-amazonica-da-exemplo-de-sustentabilidade-socioambiental>. Acesso em 8 de abril de 2022.

JANENI, Jayasankar; ADASSOORIYA, Nadeesh M. Nanocellulose biopolymer-based biofilms: Applications and challenges. *In: BIOPOLYMER-BASED NANO FILMS*. [S. l.]: Elsevier, 2021. p. 43–62. *E-book*. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128233818000119>.

JAYAKUMAR, Aswathy *et al.* Recent innovations in bionanocomposites-based food packaging films – A comprehensive review. **Food Packaging and Shelf Life**, [s. l.], v. 33, p. 100877, 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214289422000692>.

JORGE, Neuza. **Embalagens para alimentos**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2013.

JOST, Verena; MIESBAUER, Oliver. Effect of different biopolymers and polymers on the mechanical and permeation properties of extruded PHBV cast films. **Journal of Applied Polymer Science**, [s. l.], v. 135, n. 15, p. 46153, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app.46153>.

LA FUENTE, Carla I.A. *et al.* Casting and extrusion processes to produce bio-based plastics using cassava starch modified by the dry heat treatment (DHT). **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [s. l.], v. 75, p. 102906, 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1466856421003076>.

LIM, L.-T.; AURAS, R.; RUBINO, M. Processing technologies for poly(lactic acid). **Progress in Polymer Science**, [s. l.], v. 33, n. 8, p. 820–852, 2008. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0079670008000373>.

LUCHESE, Cláudia Leites *et al.* Evaluation of blueberry residue incorporated cassava starch film as pH indicator in different simulants and foodstuffs. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 82, p. 209–218, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268005X17317563>.

MAHALIK, Nitaigour P.; NAMBIAR, Arun N. Trends in food packaging and manufacturing systems and technology. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 21, n. 3, p. 117–128, 2010. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224410000063>.

MARINELLI, Alessandra L. *et al.* Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. **Polímeros**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 92–99, 2008. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-14282008000200005&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282008000200005&lng=pt&tlng=pt).

MCADAM, Blaithín *et al.* Production of Polyhydroxybutyrate (PHB) and Factors Impacting Its Chemical and Mechanical Characteristics. **Polymers**, [s. l.], v. 12, n. 12, p. 2908, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/12/12/2908>.

MEHTA, Rajeev *et al.* Synthesis of Poly(Lactic Acid): A Review. **Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews**, [s. l.], v. 45, n. 4, p. 325–349,

2005. Disponível em:  
<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15321790500304148>.

MENEZES, Ellen Mayra da Silva; TORRES, Amanda Thiele; SABAA SRUR, Armando Ubirajara. Valor nutricional da polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart) liofilizada. **Acta Amazonica**, [s. l.], v. 38, n. 2, p. 311–316, 2008. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0044-59672008000200014&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672008000200014&lng=pt&tlng=pt).

MOEINI, Arash *et al.* Formulation of secondary compounds as additives of biopolymer-based food packaging: A review. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 114, p. 342–354, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224421003794>.

MONTEIRO, Alvaro Ferreira *et al.* High concentration and yield production of mannose from açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) seeds via mannanase-catalyzed hydrolysis. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 10939, 2019. Disponível em: <http://www.nature.com/articles/s41598-019-47401-3>.

MONTEIRO, Luana Helena Oliveira; COSTA, Rodrigo Otávio Silva da; PINHEIRO, Paula Fernanda Viegas. RESÍDUOS PRODUZIDOS PELOS PROCESSADORES DE AÇAÍ NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM E AVALIAÇÃO DO SEU POTENCIAL ENERGÉTICO. *In:* , 2017, São Paulo. **Blucher Engineering Proceedings**. São Paulo: Editora Blucher, 2017. p. 1522–1532. Disponível em: <http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/26823>.

NAIR, N.R. *et al.* Biodegradation of Biopolymers. *In:* CURRENT DEVELOPMENTS IN BIOTECHNOLOGY AND BIOENGINEERING. [S. l.]: Elsevier, 2016. p. 739–755. *E-book*. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780444636621000324>.

NOGUEIRA, Daiane *et al.* Effect of an active biodegradable package made from bean flour and açaí seed extract on the quality of olive oil. **Polymer Engineering & Science**, [s. l.], v. 62, n. 4, p. 1070–1080, 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pen.25907>.

OLADZADABBASABADI, Nazila *et al.* Natural anthocyanins: Sources, extraction,

characterization, and suitability for smart packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, [s. l.], v. 33, p. 100872, 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214289422000643>.

OLIVEIRA, Aryane Ribeiro *et al.* Structural and physicochemical properties of freeze-dried açai pulp (*Euterpe oleracea* Mart.). **Food Science and Technology**, [s. l.], v. 40, n. 2, p. 282–289, 2020. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-20612020000200282&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612020000200282&tlng=en).

OLIVEIRA, Maria do Socorro Padilha de; NETO, João Tomé de Farias; PENA, Rosinelson da Silva. Açai: técnicas de cultivo e processamento. **Instituto Frutal**, [s. l.], p. 104 p., 2007. Disponível em: [http://ag20.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Cursoacai\\_Frutal\\_2007\\_000gbz4ubex02wx5ok01dx9lc36pq0js.pdf](http://ag20.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Cursoacai_Frutal_2007_000gbz4ubex02wx5ok01dx9lc36pq0js.pdf).

OTONI, Caio G. *et al.* Recent Advances on Edible Films Based on Fruits and Vegetables-A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [s. l.], v. 16, n. 5, p. 1151–1169, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1541-4337.12281>.

PACHECO-PALENCIA, Lisbeth A.; DUNCAN, Christopher E.; TALCOTT, Stephen T. Phytochemical composition and thermal stability of two commercial açai species, *Euterpe oleracea* and *Euterpe precatoria*. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 115, n. 4, p. 1199–1205, 2009. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814609000715>.

PACHECO-PALENCIA, Lisbeth A.; TALCOTT, Stephen T. Chemical stability of açai fruit (*Euterpe oleracea* Mart.) anthocyanins as influenced by naturally occurring and externally added polyphenolic cofactors in model systems. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 118, n. 1, p. 17–25, 2010. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814609002209>.

PAES, Sabrina S.; YAKIMETS, Iryna; MITCHELL, John R. Influence of gelatinization process on functional properties of cassava starch films. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 22, n. 5, p. 788–797, 2008. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268005X07000884>.

PEREIRA, Danielle Siqueira; BARBOSA, Franciely Rodrigues. **Composição de material alternativo à base de caroço de açaí e processo para preparação de material alternativo à base de caroço de açaí.** BR n. BR 102020003652A2. Depósito: 19 fev. 2020. Concessão: 30 ago. 2021.

PESSANHA, Kênia Letícia Ferreira *et al.* Starch Films Added of Açaí Pulp ( *Euterpe oleracea* Martius). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, [s. l.], v. 61, 2018. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-89132018000100504&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-89132018000100504&tlng=en).

PIVOTTO, Emanuele M., MARIN, Isabel da S. L., SEIBEL, J., BOEIRA, Matheus F., TRENTIN, Roberta dos S., Produção de polietileno furanoato a partir do diéster metílico do ácido 2,5-furanodicarboxílico derivado do xarope de glicose. Trabalho de Graduação em Engenharia Química. **Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.** p.320. 2022

PLACKETT, David (org.). **Biopolymers – New Materials for Sustainable Films and Coatings.** [S. l.]: Wiley, 2011. *E-book*. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119994312>.

PLASTICS EUROPE. Plastics Europe Association of Plastics Manufacturers Plastics—The Facts 2021 An analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data. **Plastics - the Facts 2021**, [s. l.], p. 34, 2021. Disponível em: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2021/>.

POMPEU, D.R.; SILVA, E.M.; ROGEZ, H. Optimisation of the solvent extraction of phenolic antioxidants from fruits of *Euterpe oleracea* using Response Surface Methodology. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 100, n. 23, p. 6076–6082, 2009. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852409006464>.

RABELO, Cezar A.S. *et al.* Formulation and characterization of water-in-oil nanoemulsions loaded with açaí berry anthocyanins: Insights of degradation kinetics and stability evaluation of anthocyanins and nanoemulsions. **Food Research International**, [s. l.], v. 106, p. 542–548, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996918300176>.

RALPH, Whicky. Biodegradable or compostable pot or container comprises a composition containing natural plant and/or animal ingredients free of chemical residues or biological entity with a natural plant and/or animal fiber primarily treated by inclusion. . FR n. FR2937021B3. Depósito: 14 out. 2008. Concessão: 31 out. 2013

RATHORE, Pragma. International journal of Emerging Trends in Science and Technology. [s. l.], p. 317–325, 2014.

RHIM, Jong-Whan; NG, Perry K.W. Natural Biopolymer-Based Nanocomposite Films for Packaging Applications. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 47, n. 4, p. 411–433, 2007. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408390600846366>.

RHIM, Jong-Whan; PARK, Hwan-Man; HA, Chang-Sik. Bio-nanocomposites for food packaging applications. **Progress in Polymer Science**, [s. l.], v. 38, n. 10–11, p. 1629–1652, 2013. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S007967001300049X>.

RISCH, Sara J. Food Packaging History and Innovations. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 57, n. 18, p. 8089–8092, 2009. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf900040r>.

ROCHA, Daniel Belchior *et al.* A new approach for flexible PBAT/PLA/CaCO<sub>3</sub> films into agriculture. **Journal of Applied Polymer Science**, [s. l.], v. 135, n. 35, p. 46660, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app.46660>.

RODRIGUES, Roberta B. *et al.* Total Oxidant Scavenging Capacity of Euterpe oleracea Mart. (Açaí) Seeds and Identification of Their Polyphenolic Compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 54, n. 12, p. 4162–4167, 2006. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf058169p>.

ROGEZ, H. Açaí: Preparo, Composição e Melhoramento da Conservação. Belém: Edufpa, 2000.313p

ROMANI, Viviane P. *et al.* Amazon-sustainable-flour from açai seeds added to starch films to develop biopolymers for active food packaging. **Journal of Applied Polymer Science**, [s. l.], v. 139, n. 5, p. 51579, 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app.51579>.



SAHEB, D. N.; JOG, J. P. Natural fiber polymer composites: A review. *Advances in Polymer Technology*, v. 18, n. 4, 1999.

SATIE, Juliana; CARVALHO, Becker De; ROEDER, Luana Alessandra. Bioeconomia No Bioma Amazônico. **Inspere Agro Global**, [s. l.], p. 1–13, 2021.

SCHAUSS, Alexander G. *et al.* Antioxidant Capacity and Other Bioactivities of the Freeze-Dried Amazonian Palm Berry, *Euterpe oleracea* Mart. (Acai). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 54, n. 22, p. 8604–8610, 2006. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf0609779>.

SHANKAR, Shiv; RHIM, Jong-Whan. Bionanocomposite Films for Food Packaging Applications. *In: INNOVATIVE FOOD PROCESSING TECHNOLOGIES*. [S. l.]: Elsevier, 2018. p. 234–243. *E-book*. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128157817218751>.

SHRIVASTAVA, Anuj; DONDAPATI, Sreekanth. Biodegradable composites based on biopolymers and natural bast fibres: A review. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 46, p. 1420–1428, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214785321018058>.

SILVA, E.M. *et al.* Antioxidant activities and polyphenolic contents of fifteen selected plant species from the Amazonian region. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 101, n. 3, p. 1012–1018, 2007. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814606002007>.

SIRACUSA, Valentina *et al.* Biodegradable polymers for food packaging: a review. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 19, n. 12, p. 634–643, 2008. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224408002185>.

SUCUPIRA, Natália Rocha *et al.* Métodos Para Determinação da Atividade Antioxidante de Frutos. **UNOPAR Científica Ciências Biológicas e da Saúde**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 263–269, 2014. Disponível em: <http://revistas.unopar.br/index.php/biologicas/article/view/442>.

SUN, Shenglin *et al.* Effects of various cross-linking agents on the physicochemical properties of starch/PHA composite films produced by extrusion blowing. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 77, p. 964–975, 2018. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268005X17314443>.

VILLEGAS, Mercedes *et al.* Films based on the biopolymer poly(3-hydroxybutyrate) as platforms for the controlled release of dexamethasone. **Saudi Pharmaceutical Journal**, [s. l.], v. 27, n. 5, p. 694–701, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1319016419300544>.

YAMAGUCHI, Klenicy Kazumy de Lima *et al.* Amazon acai: Chemistry and biological activities: A review. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 179, p. 137–151, 2015. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814615000576>.

ZAMORA, Andrea Maltchik *et al.* Atlas do Plástico: Fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos. **Fundação Heinrich Boll**, [s. l.], p. 10–18, 2020. Disponível em: [https://br.boell.org/pt-br/2020/11/29/atlas-do-plastico - versão digital - 30 de novembro de 2020.pdf](https://br.boell.org/pt-br/2020/11/29/atlas-do-plastico - versao digital - 30 de novembro de 2020.pdf).

ZHAO, Lei *et al.* Anthocyanin-based pH-sensitive smart packaging films for monitoring food freshness. **Journal of Agriculture and Food Research**, [s. l.], v. 9, n. July, p. 100340, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100340>.

ZHANG, Yachuan; HAN, J. H. Plasticization of Pea Starch Films with Monosaccharides and Polyols. **Journal of Food Science**, [s. l.], v. 71, n. 6, p. E253–E261, 2006. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1750-3841.2006.00075.x>.

ZHANG, Y.; LIU, Z.; HAN, J. Starch-based edible films. *In*: ENVIRONMENTALLY COMPATIBLE FOOD PACKAGING. [S. l.]: Elsevier, 2008. p. 108–136. *E-book*. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9781845691943500052>.