

Produção de filmes biodegradáveis de componentes fibrosos de caroço de açaí (*Euterpe oleracea* M.) a base de amido de mandioca (*Manihot esculenta* C.) plasticizado com glicerol e sorbitol.

*Production of biodegradable films of açai lump fiber components (*Euterpe oleracea* M.) based on cassava starch (*Manihot esculenta* C.) plasticized with glycerol and sorbitol.*

Lucas Antônio Duarte Ribeiro¹, Isis Gomes Campos², Gleice Vasconcelos Pereira do Lago³, Wesley Lima Costa⁴, Glaucel Vasconcelos da Silva Pereira⁵, Davi do Socorro Barros Brasil⁶, José de Arimatéia Rodrigues do Rego⁷.

RESUMO

O crescente consumo de polpa de açaí tem aumentado o descarte inadequado do resíduo de caroço, e acarreta problemas ambientais e de saneamento, assim tem-se o estudo de blends biopoliméricas de amido de mandioca e componentes de caroço de açaí incorporados com polióis e aplicação para produção de filmes biodegradáveis como alternativa para minimização do descarte de resíduos. O caroço de açaí foi coletado, lavado e seco em estufa de circulação de ar a 60 °C, triturado e peneirado. As frações utilizadas foram caracterizadas por DRX, FTIR e MEV. Os filmes elaborados foram caracterizados por ensaio mecânico de resistência à tração e alongamento, espessura, transparência e solubilidade. Foram identificados a presença de celulose, hemicelulose e lignina a partir dos picos de difração de raios x e infravermelho, bem como evidênciação da parede celular através das microscopias. A incorporação de polióis junto às frações ocasionou diferenciação das propriedades dos filmes elaborados, permitindo manipulação e melhora de suas propriedades. A perspectiva de elaboração de filmes biodegradáveis incorporados com fração de caroço de açaí permite a inserção de plásticos menos poluentes no mercado consumidor, minimizando os danos ocasionados pelo descarte no meio ambiente.

Palavras-chave: Caroço de açaí. Embalagens biodegradáveis. Plasticizantes.

ABSTRACT

The growing consumption of açai juice has increased the inappropriate discard of açai seed residue, and results in environmental and sanitation problems. Therefore, there is the biopolymeric blends study, based on cassava starch and açai seed components incorporated with polyols, and application on biodegradable films production as an alternative to minimization of waste disposal. The açai seed was collected, treated and air circulation oven dried at 60 °C, crushed and sieved. The used parts of açai seeds have been characterized by X-Ray Diffraction (XRD), Infrared Spectroscopy by Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) and Scanning Electron Microscopy (SEM). The films elaborate have been characterized by mechanical properties of tensile resistance and elongation, thickness, transparency and water solubility. Cellulose, hemicellulose and lignin have been identified from the XRD and infrared peaks, as well as the disclosure of the cell wall by microscopies. The incorporation of polyols by the fractions caused differentiation of the elaborated films, allowing the manipulation and increasing of their properties. The perspective of biodegradable films elaboration incorporated with fractions of açai seed allows the less polluting plastic insertion into the consumer market, reducing the damage caused by the disposal in the environment.

Keywords: Açai seed. Biodegradable packages. Plasticizers.

¹Faculdade de Engenharia Química (FEQ) – Universidade Federal do Pará (UFPA).
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3035-1308>
E-mail: ladribeiro85@gmail.com

² Faculdade de Engenharia Química (FEQ) – Universidade Federal do Pará (UFPA).
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6764-6103>
E-mail: gomescamposisis@gmail.com

³ Programa de Pós-Graduação em Ciência e Meio Ambiente (PPGCMA). Universidade Federal do Pará (UFPA).
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9702-250X>
E-mail: gleice_vasconcelos@hotmail.com

⁴ Faculdade de Engenharia Química (FEQ) – Universidade Federal do Pará (UFPA).
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1423-2088>
E-mail: wesley.costa@itec.ufpa.br

⁵ Programa de Pós-Graduação em Ciência e Meio Ambiente (PPGCMA). Universidade Federal do Pará (UFPA).
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4900-1664>
E-mail: glaucel_vasconcelos@hotmail.com

⁶ Faculdade de Engenharia Química (FEQ) – Universidade Federal do Pará (UFPA).
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1461-7306>
E-mail: davibb@ufpa.br

⁷ Faculdade de Química (FAQUIM). Universidade Federal do Pará (UFPA).
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0891-6438>
E-mail: jrego@ufpa.br

1. INTRODUÇÃO

As blendas biopoliméricas são desenvolvidas misturando componentes poliméricos em determinada composição, onde o segundo componente não é considerado aditivo, já que sua concentração é significativa. A adição de um polímero será considerada uma blenda polimérica se a concentração mínima dos componentes é superior a 2% em massa (JUNIOR; NUNES; ORMANJI, 2006), visando gerar aos produtos novas propriedades, e características otimizadas.

Considera-se que os materiais poliméricos derivados do petróleo são altamente consumidos pela sociedade, fato atribuído ao baixo custo e excelente versatilidade de aplicações (SINGH et al., 2017). Porém, vale ressaltar que os derivados do petróleo, que em geral apresentam elevada resistência à degradação, geram alto índice de produção de resíduos sólidos, causando não só poluição ambiental, devido o descarte inadequado, como também uma problemática social e econômica (DAHLBO et al., 2018; LUNA et al., 2018).

Pesquisas que envolvam novas possibilidades de produtos que utilizam polímeros naturais se tornam alternativas ao uso de polímeros derivados de petróleo (LUNA et al., 2019). Pensando na disponibilidade de materiais da cadeia de consumo do Estado do Pará, para a base polimérica, temos o amido de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e o caroço de açaí (*Euterpe oleracea* Mart), rejeito do beneficiamento da polpa do açaí.

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é um dos principais insumos cultivados no mundo, seja para consumo interno, seja para exportação. No Brasil, até o período de dezembro de 2024, foram cultivadas cerca de 19,06 milhões de toneladas (GERPA; CONAB, 2023), sendo o Estado do Pará um dos maiores produtores, junto à região Norte/Nordeste do país, segundo dados do Departamento de Economia Rural (DERAL; DCA, 2021).

Além disso, o amido é o principal responsável pelas propriedades tecnológicas que caracterizam grande parte dos produtos processados, pois contribui para diversas propriedades de textura em alimentos, atuando como espessante, estabilizador de coloides, agente gelificante e de volume, adesivo, na retenção de água, dentre outros (COSTA, 2022). Devido a capacidade de polimerização do amido, este forma de películas de filmes que podem ser biodegradáveis, as quais apresentam propriedades de barreira, transparência e resistência (LIN; LIANG; CHANG, 2016) as quais se tornam interessantes

para o uso em embalagens biodegradáveis, ajudando a reduzir custos e o consumo de plásticos derivados de petróleo.

O açaizeiro é oriundo do cultivo em várzeas majoritariamente, e tem como maior produtor e exportador o estado do Pará, onde a produção pode chegar a 1,5 milhões de toneladas por ano, segundo dados da Confederação da Agricultura e Pecuário do Brasil (CNA, 2021). Consequentemente, também toneladas de caroços de açaí são geradas como resíduo e descartadas no meio ambiente, uma vez que este representa maior parte do fruto (MIRANDA et al., 2022).

O caroço é uma semente oleaginosa, formada por um pequeno endosperma sólido ligado a um tegumento, que na maturidade é rico em celulose (53,20%), hemicelulose (12,26%), lignina (22,30%), lipídeos (7,22%) e proteínas (5,02%) (CORDEIRO et al., 2019). A lignina, por ser um polímero amorfo e ramificado, e possuir alta complexidade, possui maior resistência à degradação, podendo ser incorporada a polímeros visando aumento de durabilidade (SANTOS; PASOLINI; COSTA, 2023).

Desta forma, a presente pesquisa tem como finalidade o estudo de blendas biopoliméricas de componentes fibrosos de caroço de açaí e amido de mandioca, incorporados com polióis glicerol e sorbitol, e sua aplicação para produção de filmes biodegradáveis.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Obtenção e tratamento do amido de mandioca

O amido de mandioca foi adquirido de amostras congeladas e embaladas a vácuo, em rede de supermercados na cidade de Belém – PA. Após a sua obtenção, foi realizada a lavagem, primeiramente em água destilada, posto para decantar, e posterior separação da água. O mesmo processo foi repetido com álcool etílico P.A., a fim de serem removidas sujidades e gorduras remanescentes (VILHENA et al., 2023).

Após lavagem, o amido foi seco em estufa com circulação de ar (Nova Ética, Modelo 404/3D), a 60 °C por 24 horas para remoção de umidade, e posteriormente armazenado para uso (RODRIGUES DO REGO et al., 2023).

2.2 Obtenção e caracterização do caroço de açaí

O caroço de açaí foi coletado junto a estabelecimento comercial de venda de polpa local, no bairro do Guamá (Belém-PA), transportado para o laboratório e pesado. Inicialmente realizou-se a determinação do teor de umidade do caroço de açaí, em estufa de circulação de ar (Nova Ética, Modelo 404/3D), a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}/24\text{ horas}$ (AOAC, 2012). Em seguida, foi feita a lavagem em água corrente para remoção de borra e sujidades, secagem a temperatura ambiente por 24 horas, e posterior secagem em estufa de circulação de ar a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 5 dias.

Após secagem em estufa, os caroços de açaí foram triturados no moinho de facas e martelo (abertura de 2,36 mm - 8 USS/ASTM) tipo Willey (marca Marconi, modelo MA 680). Após o fracionamento, o material particulado foi peneirado, utilizando o jogo de peneiras de aço inox com as granulometrias de 12, 16, 30, 45, 60, 80, 100, 120, 140, 200 e 400 USS/ASTM. Dentre as frações obtidas, foram utilizadas as de 60 e 400 ASTM para incorporação nos filmes.

As frações selecionadas foram caracterizadas por Difração de Raios X (Bruker, modelo D8 ADVANCE) com anodo de cobre, com registro entre os ângulos de 2θ de 5° a 90° , e a partir da área cristalina dos picos e área amorfa dos difratogramas (equação 1), calculado o índice relativo de cristalinidade (ICr%) (FARIAS, 2011):

$$ICr = \frac{\text{Área cristalina}}{\text{Área amorfa} + \text{área cristalina}} * 100 \quad (1)$$

A identificação química dos compostos ligantes e dos grupos funcionais das frações de caroço de açaí foi determinada por Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), com Atenuância Total Refletida (ATR) (Bruker, modelo Vertex 70) na faixa de $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$, com resolução de 4 cm^{-1} .

A micromorfologia e estrutura das frações foi analisada por Microscopia Eletrônica de Varredura (OXFORD INSTRUMENTS, modelo X-MAX-80), com EDS (kV): 15.0, vácuo: baixo; preparo da amostra: com metalização; ampliação da imagem: 120x e 500x (zoom digital 2x, 4x); tempo de aquisição da imagem: 30 s.

A metodologia de obtenção e caracterização do caroço de açaí foi submetida a proteção industrial junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial - INPI, (pedido de Patente de Invenção).

2.3 Produção das soluções filmogênicas

A produção da suspensão polimérica foi realizada de acordo com metodologia proposta por Rego et al. (2020), com modificações. Foram utilizados 4 g de amido de mandioca como base em 100 mL de água destilada, e acrescentada as frações de açaí de 60 e 400 ASTM (50% e 12,5% respectivamente, peso/peso em relação ao amido) e 30% de poliól plastificante glicerol e sorbitol (peso/peso em relação ao amido). As soluções filmogênicas resultantes foram codificadas (tabela 1) e para efeito de comparação, o controle foi elaborado sem adição de frações de caroço de açaí, e adicionado somente os polióis.

Tabela 1. Formulações das soluções filmogênicas obtidas.

Formulação	Poliól	Fração de caroço de açaí
SFG (controle)	Glicerol	-
SFG – 60	Glicerol	60 ASTM
SFG - 400	Glicerol	400 ASTM
SFS (controle)	Sorbitol	-
SFS – 60	Sorbitol	60 ASTM
SFS – 400	Sorbitol	400 ASTM

Para verificar a formação dos bioplásticos, após o preparo das soluções filmogênicas (SF), 200 mL das soluções foram vertidas em moldes de silicone (25 cm de diâmetro) e colocadas em estufa de circulação de ar (Nova Ética, Modelo 404/3D) a 40 °C por 24 horas para secagem. Após a secagem, os filmes foram embalados sem vácuo, para não machucar a sua estrutura, em seladora de bancada (Sulpack, SP 300 Ecom, Brasil) e armazenadas a 25 °C.

2.4 Caracterização dos filmes biodegradáveis

A espessura dos biofilmes foi determinada pela média de 5 medidas em pontos aleatórios, com espaçamento de 60 mm da fronteira, em micrômetro (*insize*), resolução de 0,001 mm (ZAVAREZE et al., 2012).

Transmissão de luz e transparência foram medidas na faixa visível e ultravioleta (200-800 nm) usando um espectrofotômetro UV-Visível (UV-1800/SHIMADZU), em amostras cortadas em retângulos e colocadas na cubeta. O valor da transparência será calculado pela equação 2 (ARFAT et al., 2016).

$$TV = \frac{-\log T_{600}}{x} \quad (2)$$

Onde TV = valor de transparência, T_{600} = transmitância em 600 nm e x = espessura do filme (mm), onde alto valor de TV indica menor transparência do filme.

A solubilidade foi avaliada através da imersão em água, agitação a 150 rpm/25 °C/6 h em incubadora Shaker (Lucadema, Luca223), em seguida filtrado e seco em estufa a 110 °C/6 h para determinação da massa seca não dissolvida (HOSSEINI; RAZAVI; MOUSAVI, 2009), e o resultado (equação 3) expresso por:

$$\text{Solubilidade (\%)} = \frac{m_i - m_f}{m_i} \quad (3)$$

A resistência à tração (RT) e alongamento (E%) foram determinadas pela metodologia ASTM D882-12, 2012 (Biopdi, MBIO I – Portátil, São Carlo/SP, Brasil), com modificações. A separação inicial das garras e a velocidade da sonda foi de 50 mm e 30 mm.s⁻¹ respectivamente. Os ensaios foram realizados em corpos de prova de 70 x 25 mm (comprimento x largura). Para cada formulação de biofilme, 8 medições foram feitas em temperatura ambiente. Os resultados foram calculados usando as equações 4 e 5, respectivamente.

$$RT = \frac{Fm}{A} \quad (4)$$

Onde RT: resistência à tração (MPa), Fm: força máxima de ruptura do filme (N) e A: área da seção transversal (m²).

$$\text{Alongamento (E\%)} = \frac{d_t}{d_{inicial}} * 100 \quad (5)$$

Onde E: alongamento (%), dt: distância total na ruptura (mm) e d_{inicial}: distância inicial de separação das garras (50 mm)

Os resultados de espessura, solubilidade, transparência, resistência à tração e alongamento foram analisadas pelo teste de Fisher LSD ($p \leq 0,05$), para identificação da diferença significativa entre as médias.

3. RESULTADOS

3.1 Caracterização do caroço de açaí

O teor de umidade (%) do caroço de açaí após coleta, foi de 65,29 ± 0,01, e após lavagem e secagem em estufa, um teor de 14,00 ± 0,53. De acordo com os difratogramas obtidos das frações de caroço de açaí (figura 2), pode-se observar a presença de picos nas proximidades de 16°, 20°, 25°, 33° e 35° nas frações estudadas. Com base nas difrações de Raios X das frações do caroço de açaí, obteve-se para Índice Relativo de Cristalinidade (ICr), valor aproximado de 57,68%.

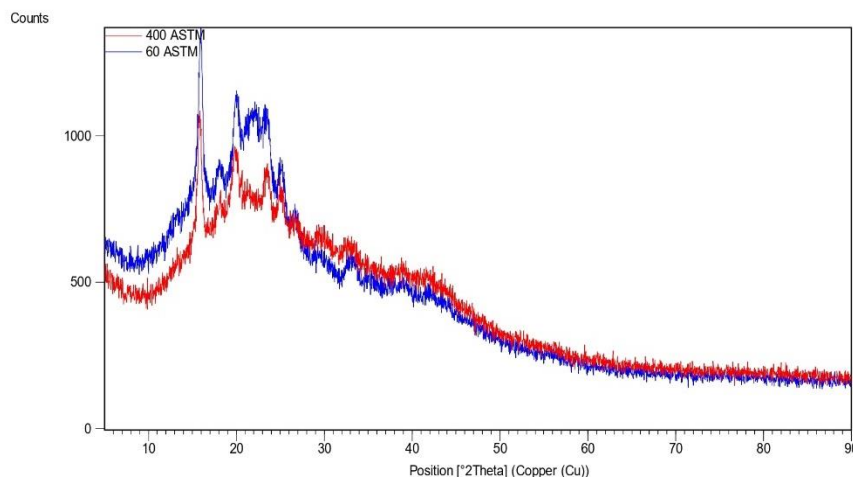


Figura 1 – difratogramas obtido das frações de caroço de açaí

Os espectros de infravermelho para as frações indicam a transmitância em relação ao infravermelho, onde é possível identificar estiramentos de hidroxila (OH^-) na faixa de 3300 cm^{-1} , além de picos em torno de 2900 cm^{-1} de ligações CH_2 , e os sinais de estiramento em torno de $1100\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ relacionados ao sistema C-O-C . O sinal em torno de 1700 cm^{-1} é característico da carbonila (C=O) enquanto os sinais em torno de 1600 e 1400 cm^{-1} são referentes ao íon carboxilato (COO^-). Os picos em $1251\text{-}1244\text{ cm}^{-1}$ representam estiramentos C-O e vibração de anel aromático (SILVERSTEIN et al., 2019).

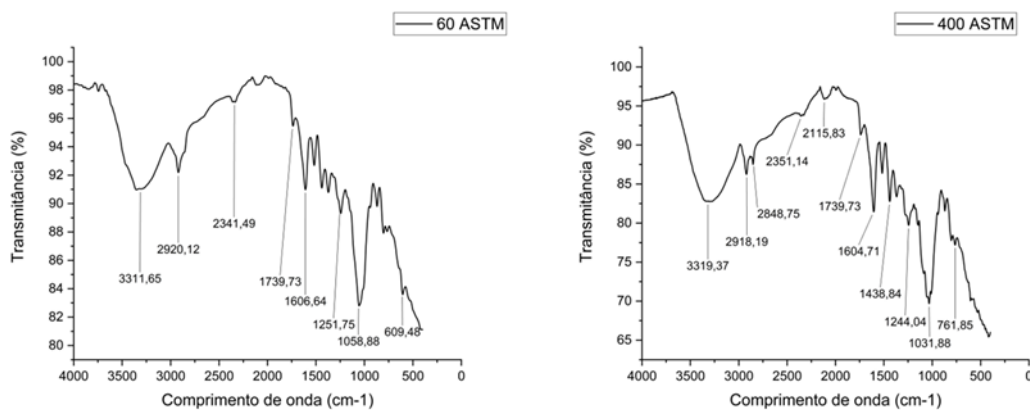


Figura 2 – Espectro de infravermelho da fração de 60 e 400 ASTM.

A microscopia eletrônica de varredura das frações utilizadas (figura 4) apresenta material não homogêneo, de grãos com tamanhos variados e aspecto não uniforme, semelhante a “raspas”.

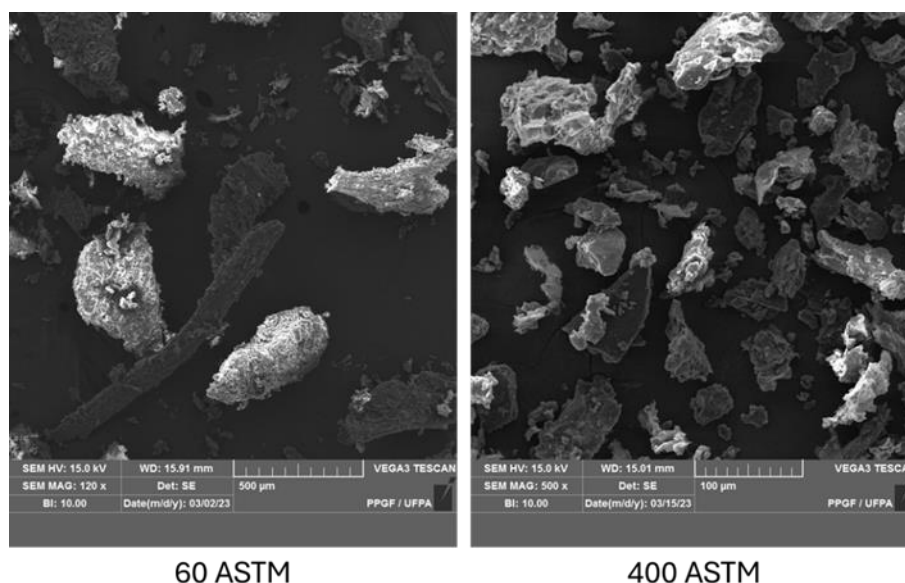


Figura 3 – Microscopia Eletrônica de Varredura das amostras de 60 e 400 ASTM.

3.2 Caracterização dos filmes biodegradáveis

A partir das formulações estabelecidas (Tabela 1), foram medidas as propriedades: espessura, resistência a tração, alongamento, solubilidade, transparência e variação de cor (tabelas 2 e 3).

Tabela 2. Propriedades das formulações de filmes biodegradáveis incorporados com sorbitol

Formulação	Espessura (mm)	Resistência a tração (MPa)	Elongamento (%)	Solubilidade (%)	Transparência
SFS	0,276 ± 0,01 ^a	10,05 ± 1,13 ^a	58,48 ± 4,20 ^a	25,27 ± 0,14 ^a	0,63 ± 0,20 ^a
SFS – 60	0,649 ± 0,03 ^b	0,58 ± 0,15 ^b	2,10 ± 0,83 ^b	29,29 ± 0,15 ^b	2,79 ± 0,01 ^b
SFS – 400	0,274 ± 0,01 ^a	14,79 ± 2,13 ^c	7,68 ± 2,10 ^c	29,89 ± 0,57 ^b	1,56 ± 0,05 ^c

Legenda: Letras em comum na mesma coluna não apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$),

Tabela 3 – propriedades das formulações de filmes biodegradáveis incorporados com glicerol

Formulação	Espessura (mm)	Resistência a tração (MPa)	Elongamento (%)	Solubilidade (%)	Transparência
SFG	0,401 ± 0,04 ^a	1,55 ± 0,29 ^a	67,53 ± 2,31 ^a	37,40 ± 0,24 ^a	0,63 ± 0,20 ^a
SFG – 60	0,501 ± 0,02 ^b	1,70 ± 0,16 ^a	11,73 ± 2,55 ^b	32,41 ± 0,29 ^b	2,09 ± 0,02 ^b
SFG – 400	0,386 ± 0,02 ^a	2,63 ± 0,58 ^b	56,28 ± 2,83 ^c	41,06 ± 0,14 ^c	3,73 ± 0,25 ^c

Legenda: Letras em comum na mesma coluna não apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$),

4. DISCUSSÃO

4.1 Caracterização do caroço de açaí

O teor de umidade antes e depois da secagem foi utilizado como parâmetro de inibição de germinação das sementes, uma vez que a umidade ideal para crescimento é de 20 – 40 % e, a umidade (%) dos caroços reduziu em mais de 50% para abaixo da faixa de germinação, pôde-se estabelecer uma faixa de manejo e armazenamento desses caroços sem que eles germinassem (NASCIMENTO; SILVA, 2005; XAVIER COSTA et al., 2018).

Os picos em torno de 16°, 20° e 25° dos difratogramas obtidos se assemelham aos picos de cristalinidade da celulose no seu estado natural do tipo Celulose I (SILVA, 2023). Os picos na faixa de 33 a 35° assemelham-se aos picos encontrados por (RAMBO; SCHMIDT; FERREIRA, 2015) para sementes de açaí, também associados à celulose.

Os valores de cristalinidade podem ser interpretados como resultantes do teor de celulose presente no material, uma vez que esta compõe a estrutura vegetal, e estudos atestam que a quebra dessa por moagem ou processos físicos causa diminuição do índice de cristalinidade (MARTINS, 2022).

Nos espectros de infravermelho, os estiramentos de hidroxila se referem a ligações de hidrogênio intermolecular (SILVA; TORQUATO; CRUZ, 2019), podendo estar relacionados às ligações glicosídicas da cadeia de celulose (RODRIGUES, 2012). Os picos de ligações CH₂ encontrados caracterizam vibrações simétricas e assimétricas (OLIVEIRA, 2015).

Foram encontrados picos referentes a cetonas e ácidos carboxílicos alifáticos, na faixa de 2300 cm⁻¹, de ligação C = O, os quais podem ser confirmados pelo pico em 1739 cm⁻¹. Já em 1606 – 1604 cm⁻¹, onde se evidenciam ligações duplas entre carbonos (C = C), são comuns em vibrações de aromáticos referentes a lignina (CRUZ et al., 2018). As bandas duplas observadas em torno de 1700 e 1600 cm⁻¹ inferem a conjugação dos grupamentos de hemicelulose e carbonil à lignina (DE OLIVEIRA et al., 2019).

Os sinais do estiramento do sistema C-O-C estão relacionados às ligações de éteres, podendo ser alifáticos ou cíclicos (BARBOSA, 2007), condizentes com o pico característico de celulose encontrado na área de impressão digital, descrito por (RODRIGUES, 2012). Os sinais de estiramentos C-O e vibração de anel aromático são referentes a lignina e hemicelulose presentes no caroço de açaí (RODRÍGUEZ-ZÚÑIGA et al., 2008).

Nas microscopias eletrônicas de varreduras, evidenciou-se que as frações apresentam poucas fibras e aspectos semelhantes aos encontrados por (BARBOSA, 2016).

A presença de pequenos grânulos ao longo do material pode ser relacionada à presença de sílica, comumente presente nas paredes celulares de vegetais (MESQUITA, 2013).

Devido as fibras não terem sofrido nenhum tipo de tratamento térmico ou químico, os quais possam converter a matéria prima e/ou adentrar em seu interior, as microscopias têm a possibilidade de serem referentes às estruturas da parede celular da biomassa (MARTINS et al., 2021).

4.2 Caracterização dos filmes biodegradáveis

Os filmes apresentaram aumento de espessura com a incorporação da fração de 60 ASTM, em relação aos controles (SFS e SFG). Uma vez que o glicerol apresenta maior potencial como plastificante, por ter menor peso molecular e número de hidroxilas ligadas a carbonos, para os filmes controle, isso provoca o aumento da espessura, uma vez que ocorrerá menor interação com a cadeia polimérica do amido. Já o controle de sorbitol, por ter interação mais forte, diminui a mobilidade dos filmes e assim também a espessura, mas a maior interação do sorbitol dificultou a dispersão homogênea e compactação da fração, ocasionando aumento de 3x da espessura (MOIA et al., 2021; SHIMAZU; MALI; GROSSMANN, 2007).

Todavia, com a incorporação da fração de 400 ASTM, os filmes apresentaram melhor distribuição das partículas, e uma vez que a fração apresenta granulometria semelhante à do amido, a dispersão dessa em solução é mais homogênea, e assim, não houve diferença dos filmes com fração quando comparados ao controle, porém, a variação de poliól interferiu na espessura dos filmes, como citado anteriormente, fornecendo filmes menos espessos para o sorbitol e mais espessos para o glicerol.

Devido a maior mobilidade de rede polimérica que o glicerol proporciona, com o acréscimo das frações, os filmes SFG – 60 apresentaram maior alongamento em relação aos filmes SFS – 60, o que ocasionou também, maiores valores de resistência. Assim, apesar do filme controle de sorbitol ter apresentado valores maiores que o de glicerol, ao acrescentar a fração de caroço de açaí, o glicerol se torna mais eficaz na melhora do desempenho mecânico.

Em contrapartida, para a incorporação da fração de 400 ASTM, houve aumento da resistência do filme com acréscimo de sorbitol, mas decréscimo de seu alongamento, enquanto, para o filme com glicerol, houve o aumento tanto da resistência quanto do alongamento, com acréscimo da fração.

Observou-se que, os filmes produzidos com glicerol apresentaram maiores valores de solubilidade, quando comparados aos filmes de sorbitol, uma vez que este é menos hidrofílico (AVELINO, 2019; SHIMAZU; MALI; GROSSMANN, 2007). O acréscimo das frações nos filmes impacta significativamente na solubilidade, onde a interação amido-açaí-poliol evidenciou isso. A maior interação entre os compostos da matriz polimérica formada pelo filme reduz a afinidade com a água, evitando que esses se dissolvam nela (PEREIRA et al., 2020). Assim, o filme SFS – 60 apresentou menor solubilidade quando comparado ao filme de SFG – 60.

Para as formulações incorporadas com 400 ASTM, entretanto, ocorreu o oposto. A inserção da fração de caroço de açaí ocasionou aumento da solubilidade destes, sendo maior em SFG – 400 que em SFS 400, devido ao maior caráter hidrofílico do glicerol.

As formulações SFS e SFG se mostraram mais transparentes que os filmes incorporados com as frações de caroço de açaí. Todos os filmes incorporados com frações apresentaram diferença, indicando que, o acréscimo de poliols e da fração interfere na transmissão de luz, resultante do arranjo dos polímeros na estrutura do filme (ARAÚJO et al., 2018), o que permite que os filmes possam ser utilizados como embalagens, de forma a evitar a degradação pela ação da luz (PEREIRA et al., 2020).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processamento do caroço de açaí evidenciou a extensa possibilidade de compostos presentes no resíduo, devido a presença de celulose, lignina, dentre outros compostos identificados por FTIR e DRX, que possibilitam a interação do resíduo com o amido, para obtenção de matrizes polimérica. Além disso, a vasta gama de frações obtidas permite a continuidade do estudo, visando a elaboração de plásticos biodegradáveis, para embalagens primárias, secundárias e ativas, além de eco painéis e compósitos.

A elaboração dos filmes se mostrou eficaz, apresentando resultados satisfatórios para a manipulação das propriedades do polímero, pela interação deste com poliols, permitindo assim, obter plásticos biodegradáveis para as mais diversas funções e necessidades, seja em embalagens alimentícias (primárias ou secundárias), de bens de consumo etc. que possam ser descartáveis sem causar danos excessivos no meio ambiente, bem como sacolas plásticas sustentáveis, recipientes e frascos.

Dessa forma, testes ambientais de biodegradabilidade, associado a técnicas de escalonamento, como extrusão, se fazem necessárias para viabilidade da produção em

larga escala, o que, aliado a uma economia verde e sustentável, permite reduzir o descarte inadequado de caroços de açaí, e tornando estes não mais resíduos, mas, matéria-prima como base do processo estabelecido.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Pará (UFPA), ao Laboratório de Espectroscopia Vibracional e Altas Pressões da UFPA (LEVAP/ UFPA), à FINEP, LMMiLiE-PPGF/UFPA e rede LABNANO-AMAZON/UFPA pelo apoio através das instalações de FTIR, DRX e MEV utilizadas no presente trabalho.

REFERÊNCIAS

AOAC. **Official Methods of Analysis**. 19. ed. Maryland,USA: AOAC International, 2012.

ARAÚJO, C. S. et al. Optimizing process parameters to obtain a bioplastic using proteins from fish byproducts through the response surface methodology. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 16, p. 23–30, jun. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.01.009>>. Acesso em: 27 set. 2024.

ARFAT, Y. A. et al. Physico-Mechanical Characterization and Antimicrobial Properties of Fish Protein Isolate/Fish Skin Gelatin-Zinc Oxide (ZnO) Nanocomposite Films. **Food and Bioprocess Technology**, v. 9, n. 1, p. 101–112, 30 jan. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11947-015-1602-0>>. Acesso em: 25 fev. 2025.

AVELINO, K. R. DE S. **Desenvolvimento e caracterização de filmes comestíveis à base de tomate (*Lycopersicon esculentum*)**. Dissertação (Mestrado) — Dourados, MS: Universidade Federal da Grande Dourados, 2019. Disponível em: <<http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/2423>>. Acesso em: 27 set. 2024

BARBOSA, A. DE M. **Compósitos poliméricos com resíduo de açaí para mitigação de efeitos térmicos como estratégias eco-alternativas em habitações na Amazônia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) —Manaus: Universidade Federal do Amazonas, 15 dez. 2016. Disponível em: <<https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/5494>>. Acesso em 01 abr. 2024.

BARBOSA, L. C. DE A. **Espectroscopia no infravermelho: na caracterização de composto orgânicos**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2007.

CNA. **Cultivo de açaí no Pará é exemplo de produção sustentável**. Disponível em: <<https://cnabrasil.org.br/noticias/cultivo-de-acai-no-para-e-exemplo-de-producao-sustentavel>>. Acesso em: 17 ago. 2024.

CORDEIRO, Marcio De Andrade *et al.* Hidrólise enzimática do caroço de açaí (*Euterpe oleracea* Mart) para a produção de etanol. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.

8, n. 1, 27 mar. 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.5380/rber.v8i1.53977>>. Acesso em: 19 set. 2025.

COSTA, M. S. **Influência de alfa amilases fúngicas na textura de pão de forma.** Trabalho de Conclusão de Curso — Bambu, MG: IFMG, 25 ago. 2022. Disponível em: <https://www.bambui.ifmg.edu.br/portal/images/PDF/Biblioteca/TCCs/Engenharia_de_Alimentos/2022/COSTA_Maria_Silveira._Influ%C3%Aancia_de_alfaamilases_f%C3%BAngicas_na_textura_de_p%C3%A3o_de_forma.pdf>. Acesso em: 27 set. 2024.

CRUZ, G. et al. Physico-chemical properties of Brazilian biomass: Potential applications as renewable energy source. **African Journal of biotechnology**, v. 17, set. 2018.

DAHLBO, H. et al. Recycling potential of post-consumer plastic packaging waste in Finland. **Waste Management**, v. 71, p. 52–61, 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.033>>. Acesso em: 29 mar. 2024.

DE OLIVEIRA, D. N. P. S. et al. Enhancement of the Amazonian Açaí Waste Fibers through Variations of Alkali Pretreatment Parameters. **Chemistry & Biodiversity**, v. 16, n. 9, 13 set. 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1002/cbdv.201900275>>. Acesso em: 27 set. 2024.

DERAL, D. DE E. R.; DCA, D. DE C. A. **Prognóstico Agropecuário Mandioca 2021/2022.** Paraná. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, 2021.

FARIAS, S. B. P. DE. **Síntese, Caracterização e Avaliação do Grau de Cristalinidade de Compostos Tipo Hidrotalcita.** Dissertação (Mestrado) — Juiz de Fora: UFJF, 28 fev. 2011. Disponível em: < <https://repositorio.ufjf.br/jspui/handle/ufjf/5513>>. Acesso em: 13 mai. 2024.

GERPA, G. DE P. A.; CONAB, C. N. DE A. **Mandioca Análise Mensal.** Brasília: [s.n.]. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-mandioca/item/download/46736_bc3f73c26e9f79fca47ead5545646713>. Acesso em: 2 abr. 2023.

HOSSEINI, M. H.; RAZAVI, S. H.; MOUSAVI, M. A. Antimicrobial, physical and mechanical properties of chitosan-based films incorporated with thyme, clove and cinnamon essential oils. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 33, n. 6, p. 727–743, dez. 2009. Disponível em: < <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2008.00307.x>>. Acesso em: 19 ago. 2024.

JUNIOR, A. R.; NUNES, L. RODRIGUES.; ORMANJI, WAGNER. **Tecnologia do PVC.** 2a ed. São Paulo: Braskem, 2006.

LIN, J.-H.; LIANG, C.-W.; CHANG, Y.-H. Effect of starch source on gel properties of kappa-carrageenan-starch dispersions. **Food Hydrocolloids**, v. 60, p. 509–515, out. 2016. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.024>>. Acesso em: 21 fev. 2025.

LUNA, C. B. B. et al. Toughening of polystyrene using styrene-butadiene rubber (SBRr) waste from the shoe industry. **REM - International Engineering Journal**, v. 71, n. 2, p. 253–260, abr. 2018.

LUNA, C. B. B. et al. Photo-degradation of PS/SBRr blends compatibilized with SEBS. **Materials Research Express**, v. 6, n. 9, p. 95327, jul. 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/0370-44672017710090>>. Acesso em: 29 mar. 2024.

MARTINS, C. S. **Efeito da moagem mecânica na cristalinidade do caroço de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.)**. Trabalho de Conclusão de Curso — Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2022.

MARTINS, L. S. et al. Insight on açaí seed biomass economy and waste cooking oil: Eco-sorbent castor oil-based. **Journal of Environmental Management**, v. 293, p. 112803, set. 2021. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112803>>. Acesso em: 19 ago. 2024.

MESQUITA, A. DE L. **Estudos de processos de extração e caracterização de fibras do fruto do açaí (*Euterpe oleracea* MART.) da Amazônia para produção de ecopainel de partículas de média densidade**. Tese de Doutorado — Belém: Universidade Federal do Pará, dez. 2013. Disponível em: < <https://proderna.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/teses/Antonio.pdf>>. Acesso em 19 ago. 2024.

MIRANDA, L. DE V. A. et al. Descarte e destino final de caroços de açaí na Amazônia Oriental - Brasil. **Ambiente & Sociedade**, v. 25, 2022. Disponível em:< <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc2020138r2vu2022L2AO>>. Acesso em: 28 set. 2024.

MOIA, P. J. S. et al. Efeito dos plastificantes sorbitol e glicerol em filmes de gelatina da pele de tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 15, n. 2, 22 set. 2021. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.3895/rbta.v15n1.12556>>. Acesso em: 27 set. 2024.

NASCIMENTO, W. M. O. DO; SILVA, W. R. DA. Comportamento fisiológico de sementes de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) submetidas à desidratação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 3, p. 349–351, dez. 2005. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S0100-29452005000300003>>. Acesso em: 26 set. 2024.

OLIVEIRA, J. C. **Síntese e caracterização de nanocompósitos poliméricos reforçados com whiskers de celulose da fibra de licuri**. Dissertação (Mestrado) — Salvador: Universidade Federal da Bahia - UFBA, 27 abr. 2015. Disponível em: < <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/18597>>. Acesso em 04 jul. 2024.

PEREIRA, G. V. DA S. et al. Glycerol and fatty acid influences on the rheological and technological properties of composite films from residues of *Cynoscion acoupa*. **Food Bioscience**, v. 38, p. 100773, dez. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100773>>. Acesso em: 27 set. 2024.

RAMBO, M. K. D.; SCHMIDT, F. L.; FERREIRA, M. M. C. Analysis of the lignocellulosic components of biomass residues for biorefinery opportunities. **Talanta**, v. 144, p. 696–703,

nov. 2015. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.06.045>>. Acesso em: 18 ago. 2024.

REGO, J. DE A. R. DO et al. Characterization and Evaluation of Filmogenic, Polymeric, and Biofilm Suspension Properties of Cassava Starch Base (*Manihot esculenta* Crantz) Plasticized with Polyols. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 50417–50442, 2020. Disponível em: < <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-626>>. Acesso em 15 ago. 2024.

RODRIGUES DO REGO, J. DE A. et al. Cinética de secagem de amido de mandioca (*Manihot esculenta* C.): modelagem matemática. **Revista Cereus**, v. 15, n. 2, 2023. Disponível em: < <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-626>>. Acesso em 15 set. 2024.

RODRIGUES, N. **Espectroscopia por FTIR de variedades híbridas de bagaço de cana-de-açúcar pré-tratados para produção de etanol celulósico**. Dissertação de Mestrado—Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 24 ago. 2012. Disponível em: < <https://repositorio.ufjf.br/jspui/handle/ufjf/4912>>. Acesso em: 19 ago. 2024.

RODRÍGUEZ-ZÚÑIGA, U. F. et al. Produção de complexos lignocelulolíticos em substratos derivados de resíduos agroindustriais por fermentação semisólida. **IV Workshop de Biocatálise e Biotransformação. Anais...**São Carlos: Instituto de Química de São Carlos, jul. 2008. Disponível em: < <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/31325>>. Acesso em: 18 ago. 2024.

SANTOS, M. M.; PASOLINI, F. S.; COSTA, A. P. O. Caracterização físico-química do caroço e da fibra do açaí (*Euterpe oleracea* mart.) via métodos clássicos e instrumentais. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 9, n. 2, p. 143–160, 16 jun. 2023. Disponível em: < <https://doi.org/10.47456/bjpe.v9i2.40688>>. Acesso em: 23 mar. 2025.

SHIMAZU, A. A.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E. Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 28, n. 1, p. 79, 30 jul. 2007. Disponível em: < <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2007v28n1p79>>. Acesso em 08 mai. 2024.

SILVA, A. V. S.; TORQUATO, L. D. M.; CRUZ, G. Potential application of fish scales as feedstock in thermochemical processes for the clean energy generation. **Waste Management**, v. 100, p. 91–100, dez. 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.09.007>>. Acesso em 27 set. 2024.

SILVA, P. H. DO N. **Caracterização e aplicação de biocarvão obtido a partir do caroço do açaí para a conversão de óleo de palma**. Trabalho de Conclusão de Curso—Natal: Universidade do Rio Grande do Norte, 2023. Disponível em: < <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/53644>>. Acesso em: 18 ago. 2024.

SILVERSTEIN, R. et al. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. 8. ed. [s.l.] LTC, 2019.

SINGH, N. et al. Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications. **Composites Part B: Engineering**, v. 115, p. 409–422, 2017. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.09.013>>. Acesso em: 29 mar. 2024.

VILHENA, A. et al. Aplicação de rejeito argiloso de alta alumina e fibra de caroço de açaí na produção de bioblocos com suspensões poliméricas a base de amido de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Ambiência, Engenharia e Sustentabilidade em diferentes espaços e direções**. [s.l.] Editora Científica Digital, 2023. p. 115–126. Disponível em: < 10.37885/230613433>. Acesso em: 04 jul. 2024.

XAVIER COSTA, C. R. et al. Effects of Temperature, Light and Seed Moisture Content on Germination of Euterpe precatoria Palm. **American Journal of Plant Sciences**, v. 09, n. 01, p. 98–106, 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.4236/ajps.2018.91009>>. Acesso em: 26 set. 2024.

ZAVAREZE, E. DA R. et al. Filmes biodegradáveis à base de proteínas miofibrilares de pescado. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. spe, p. 53–57, 27 nov. 2012. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S1981-67232012005000038>>. Acesso em 15 ago. 2024.