

SÍNTSESE E CARACTERIZAÇÃO DE BIOFILME À BASE DE AMIDO DE PINHÃO

DE ASSIS ROSSINI, Larissa¹
FRANÇOIS, Agatha Lima²
MAGALHÃES, Bruna Sthephany Grassi³
SANTOS, Tamires Roberta Damascena dos⁴

RESUMO

Devido a sua praticidade e resistência, as sacolas plásticas são bastante utilizadas mundialmente. No entanto, a utilização do polietileno como matéria-prima ocasiona sérios problemas ambientais, como a morte de animais e o acúmulo de lixo. Para mitigar esses problemas, uma alternativa seria a produção de filmes biodegradáveis, uma vez que têm origem natural e se degradam rapidamente. A utilização do amido de pinhão para obtenção de biofilmes pode ser considerada uma opção viável para substituição das sacolas plásticas. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo sintetizar e caracterizar um biofilme à base de amido de pinhão. O amido foi extraído das sementes e utilizado para produção das amostras em proporções diferentes de amido e glicerol utilizando a técnica de *casting*. Para caracterizá-los, foram realizadas as análises de gramatura, espessura, teor de umidade e solubilidade em água, em triplicata, que apresentaram os respectivos valores médios para as três amostras analisadas: $0,038 \pm 0,008 \text{ g/cm}^2$, $0,248 \pm 0,050 \text{ mm}$ e $36,098 \pm 2,1\%$. A solubilidade em água das amostras I e II foi $38,57 \pm 4,11\%$, enquanto a amostra III foi totalmente solubilizada (100%) devido à sua espessura. Os resultados da Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) indicam que o amido e o filme mantiveram suas estruturas após o processamento e o resultado da TGA indicou boa resistência a altas temperaturas. Por meio dos resultados das análises, foi possível concluir que o filme obtido apresenta características condizentes para uma futura possibilidade de substituição das sacolas plásticas.

PALAVRAS-CHAVE: Sacolas plásticas. Amido de pinhão. Glicerol. Polímeros. Casting.

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BIOFILM BASED ON PINE NUT STARCH

ABSTRACT

Due to their practicality and resistance, plastic bags are widely used worldwide. However, the use of polyethylene as a raw material causes serious environmental problems, such as the death of animals and the accumulation of garbage. To alleviate these problems, an alternative would be the production of biodegradable films, as they have a natural origin and degrade quickly. The use of pine nut starch to obtain biofilms can be considered a viable option to replace plastic bags. In this context, the present work aimed to synthesize and characterize a biofilm based on pine nut starch. Starch was extracted from the seeds and used to produce samples in different proportions of starch and glycerol using the *casting* technique. To characterize them, analyzes of grammage, thickness, moisture content and water solubility were carried out in triplicate, which presented the respective average values for the three samples analyzed: $0.038 \pm 0.008 \text{ g/cm}^2$, $0.248 \pm 0.050 \text{ mm}$ and $36.098 \pm 2.1\%$. The water solubility of samples I and II was $38.57 \pm 4.11\%$, while sample III was completely solubilized (100%) due to its thickness. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) results indicate that the starch and film maintained their structures after processing and the TGA results indicated good resistance to high temperatures. Through the analysis results, it was possible to conclude that the film obtained exhibits characteristics suitable for a future possibility of replacing plastic bags.

KEYWORDS: Plastic bags. Pine nut starch. Glycerol. Polymers. Casting.

¹ Técnica em Análises Químicas pelo Instituto Federal do Paraná. Graduanda em Engenharia Química pela Lehigh University. E-mail: lad226@lehigh.edu

² Técnica em Análises Químicas pelo Instituto Federal do Paraná. Graduanda em Engenharia Química pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná. E-mail: agatha.francois@unioeste.br

³ Bacharel em Química pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
E-mail: brunagrassi1997@gmail.com

⁴ Mestre em Processos Químicos e Biotecnológicos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
E-mail: tamires.damascena@ifpr.edu.br

1. INTRODUÇÃO

O plástico possui diversas vantagens quanto à sua utilização, destacando a leveza, baixo custo de produção, flexibilidade, assepsia, selabilidade sob calor e resistência à tração (SANTOS *et al.*, 2012). As sacolas plásticas surgiram na década de 1970 e se popularizaram rapidamente, principalmente com a sua distribuição gratuita em supermercados e lojas devido à praticidade (OLIVEIRA *et al.*, 2012). A principal matéria-prima das sacolas plásticas é produzido a partir de uma resina de baixa densidade chamada polietileno (pebd). O polietileno é um polímero que possui propriedades de tenacidade, alta resistência ao impacto, flexibilidade, não possui toxicidade aparente e é não-biodegradável (ROSA *et al.*, 2007).

Segundo dados do Fundo Mundial para a Natureza (WWF Brasil) e do Banco Mundial, o Brasil produz em média 11 milhões de toneladas de lixo plástico e é o 4º maior produtor de lixo plástico no mundo (WWF, 2019). Em relação às sacolas plásticas, são distribuídas cerca de 1 trilhão por ano em todo o mundo, como divulgou o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2012).

De acordo com o Secretário Geral das Nações Unidas, António Guterres, o número de microplásticos nos mares supera o de estrelas em nossa galáxia. Isso evidencia a alarmante situação ambiental, onde o uso indiscriminado e o descarte inadequado de sacolas plásticas têm causado graves impactos ambientais. A vida no ecossistema marinho é particularmente afetada, ocasionando a morte dos animais desse ambiente (PNUMA, 2019). Estatísticas apontam que não apenas os organismos marinhos, mas também mamíferos e pássaros enfrentam uma estimativa de cem mil mortes por ano em decorrência da ingestão de sacolas plásticas (LORENZETT *et al.*, 2013).

Para contornar esse problema ambiental e contribuir para a sustentabilidade do planeta, a produção de filmes biodegradáveis pode ser considerada uma opção viável para substituição das sacolas plásticas, pois não interferem na fauna do mesmo modo que o plástico sintético devido à sua origem natural e rápida degradação (GOMES *et al.*, 2013).

Desse modo, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um filme biodegradável à base de amido de pinhão e glicerol, através da técnica de *casting*, que tenha a capacidade de auxiliar para conservação do meio ambiente e diminuição do uso exorbitante das sacolas plásticas não biodegradáveis.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 FILMES POLIMÉRICOS BIODEGRADÁVEIS

Os filmes poliméricos são materiais que apresentam uma espessura fina e são utilizados como barreira a agentes externos, como por exemplo, a umidade, gases e óleos (VIÉGAS, 2016). São ditos biodegradáveis pois sofrem cisão de cadeia pela ação de microrganismos quando em contato com o solo, essa degradação leva a uma mineralização completa do material (GOMES *et al.*, 2013).

Em pesquisas de produção de filmes biodegradáveis a base de amido, a técnica de *casting* foi e ainda é fortemente empregada e discutida, mostrando resultados positivos no setor laboratorial (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010). Tais resultados estimularam o interesse industrial pelos materiais, que cresceu nas últimas décadas (VIÉGAS, 2016).

Na produção industrial de filmes biodegradáveis, o amido é utilizado em função da viscosidade, poder geleificante, adesão, tendência a retrogradação, entre outras propriedades que são modificadas de acordo com o teor de amilose/amilopectina, proteína e gordura, além da estrutura, forma e tamanho dos grânulos (DAIUTO; CEREDA; CARVALHO, 2002).

2.2 AMIDO

Amido é o produto amiláceo extraído das partes aéreas comestíveis dos vegetais (tubérculos, raízes e rizomas) (UDA *et al.*, 2008). O amido é encontrado na maioria das espécies de plantas, é formado nos plastídeos das plantas superiores e serve como um carboidrato de reserva temporário (DENARDIN; SILVA, 2009). Dois polímeros são diferenciados nos grânulos de amido: amilose e amilopectina. A amilose é principalmente encontrada em cadeias lineares e a amilopectina, em contraste, é mais ramificada (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

Como consequência da ramificação, a amilopectina forma uma região mais densa e cristalina, dificultando a entrada de moléculas e apresenta maior resistência no processo de hidrólise (POLESI, 2009). Variações nas proporções entre os dois componentes podem afetar as suas aplicações industriais, uma vez que a quantidade altera suas estruturas e propriedades, podendo resultar em grânulos de amido com propriedades físico-químicas e funcionais muito diferentes (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

A obtenção do termoplástico à base de amido se dá pela destruição da estrutura granular, que forma uma matriz polimérica homogênea e fundamentalmente amorfa (SOUZA; ANDRADE, 2000). As ocorrências que propiciam tal destruição e formação de uma pasta viscoelástica são a

gelatinização, que rompe as ligações de hidrogênio em excesso de água, e a fusão, que exige altas temperaturas e pouco solvente (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010). Durante o aquecimento da solução, o grão de amido sofre transformações relacionadas ao aumento da viscosidade e transparência, formação de gel e regiões cristalinas, que diminuem o volume do sistema e liberam a água antes ligada às moléculas (REIS; ASCHERI; DEVILL, 2012).

Depois de aquecido na técnica de *casting*, o amido armazenado pode sofrer um fenômeno denominado retrogradação: durante o resfriamento as moléculas vão perdendo energia, as ligações de hidrogênio se tornam mais fortes e as cadeias se arranjam em um estado mais ordenado, resultando na formação de zonas de junção entre as moléculas de amido e, consequentemente, na formação de áreas cristalinas (DENARDIN; SILVA, 2009).

A maioria dos amidos contém 20-30% de amilose e 70-80% de amilopectina, variando de acordo com a fonte botânica (SILVA, 2011). A concentração de amilose é um fator de grande influência para a ocorrência de retrogradação, as cadeias lineares deste polímero possuem forte tendência de reassociação por meio da formação de pontes de hidrogênio com outras moléculas de amilose adjacentes, formando estruturas cristalinas de duplas hélices quando a solução esfria e se mantém por longo período, enquanto a amilopectina sofre uma retrogradação mais lenta (DENARDIN; SILVA, 2009).

A escolha do alimento fornecedor de amido a ser utilizado na formulação dos filmes e revestimentos é muito importante, pois deste serão estabelecidas as interações entre os componentes do material, que poderão alterar as propriedades dos filmes (VIÉGAS, 2016).

A *Araucaria angustifolia* é popularmente conhecida como Pinheiro do Paraná e encontrada em maior parte nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. O pinhão, a semente dessa árvore, faz parte da cultura da população desses estados, sendo imprescindível sua presença nas chamadas festas juninas. Ele é considerado uma fonte de amido, devido à presença de uma alta quantidade (~34%) deste componente (SILVA, 2011).

2.3 ADITIVO PLASTIFICANTE

As propriedades mecânicas dos filmes, como flexibilidade e resistência, podem ser melhoradas com adição de aditivos plastificantes, que são substâncias com massa molecular pequena em proporção ao polímero e formam com ele um material homogêneo. Os plastificantes mais indicados para serem empregados em filmes de amido são os polióis, como o glicerol e o sorbitol. (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010; REIS *et al.*, 2011).

O glicerol é um aditivo plastificante classificado como poliol (álcool contendo múltiplos grupos de hidroxila) e sua interação com o amido proporciona a ocupação de pequenos espaços, contribuindo para a flexibilidade do filme (HORN, 2012).

A solução filmogênica é modificada enquanto o glicerol é acrescido, alterando a organização molecular da rede amilácea, ocasionando ampliação do volume livre e diminuição da coesão entre as moléculas. Este efeito dos plastificantes leva a mudanças no material, principalmente devido à sua higroscopidade, como por exemplo, a temperatura de transição da fibra de vidro, a resistência mecânica e propriedades de barreira de gás e vapor de água são reduzidas, resultando em escalabilidade, ductilidade e flexibilidade (SHIMAZU; MALI; GROSSMANN, 2007).

O glicerol é um subproduto da produção de biodiesel, compreendendo cerca de 10% da massa final total das substâncias obtidas. No Brasil, como alternativa ao uso de combustíveis fósseis, a mistura de diesel fóssil comercializada deve apresentar 10% de biodiesel, e elevar a demanda de tal combustível renovável causa o excedente de glicerol nas indústrias (BRASIL, 2021). Portanto, é fundamental buscar alternativas para o consumo desse volume extra de glicerol reduzindo o impacto de tal produto excedente no meio ambiente (BEATRIZ; ARAÚJO; LIMA, 2011). Desse modo, a adição de glicerol na solução filmogênica de amido de pinhão busca a melhoria das características do filme desenvolvido neste trabalho e contribuir com uma alternativa de uso do glicerol.

3. METODOLOGIA

No processo de produção dos biofilmes utilizou-se o pinhão para extração do amido e corante alimentício para coloração dos filmes, ambos adquiridos em comércio local. O glicerol utilizado como aditivo plastificante, considerado Para Análise (P.A), foi obtido no Laboratório de Química do IFPR Campus Cascavel.

3.1 PRODUÇÃO DO BIOFILME

3.1.1 Extração do amido de pinhão

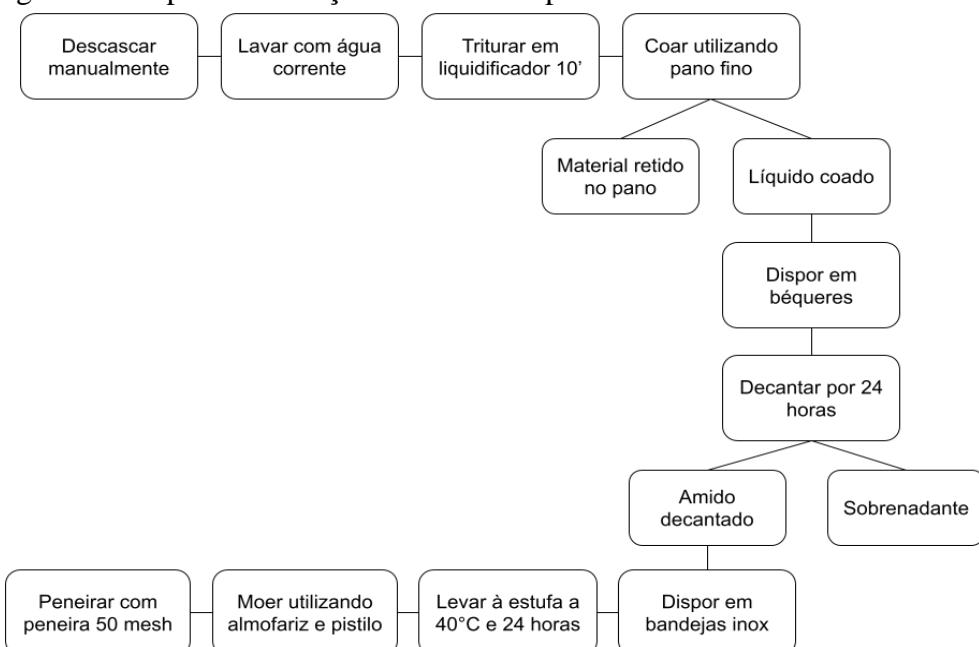
O pinhão foi obtido em comércio local e o amido foi extraído no Laboratório de Química do Instituto Federal do Paraná Campus Cascavel segundo a metodologia proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2014) com algumas modificações.

Na primeira etapa, o pinhão foi descascado manualmente e lavado para retirada da película interna e compostos oxidantes da casca (SILVA, 2011). Em seguida, o endosperma foi triturado em

liquidificador industrial por 10 segundos, utilizando 2 L de água para cada 1 kg de material. O obtido foi coado utilizando pano fino de poliéster. O retido no pano foi levado para uma segunda trituração e novamente coado. O líquido obtido foi depositado em bêqueres de 2L e permaneceu decantando por 24 horas.

Após 24 horas, o sobrenadante foi descartado e a massa obtida foi transferida para uma bandeja de inox e levada para estufa a 40°C por 24 horas. O amido seco foi moído e peneirado utilizando peneira 50 mesh para obtenção do pó fino, conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1 - Etapas da obtenção do amido de pinhão.



Fonte: Dados das autoras.

3.1.2 Ensaio preliminar da produção do biofilme

Os filmes foram preparados através da técnica de *casting*. Inicialmente, foram obtidas as diferentes soluções filmogênicas de amido de pinhão:glicerol, apresentando as proporções de massa de: 3:1, 1:1 e 1:3, e adição de 10mL de água para cada grama de solutos que foram, em agitação mecânica constante, aquecidos até atingir a temperatura de 85°C (VIÉGAS, 2016).

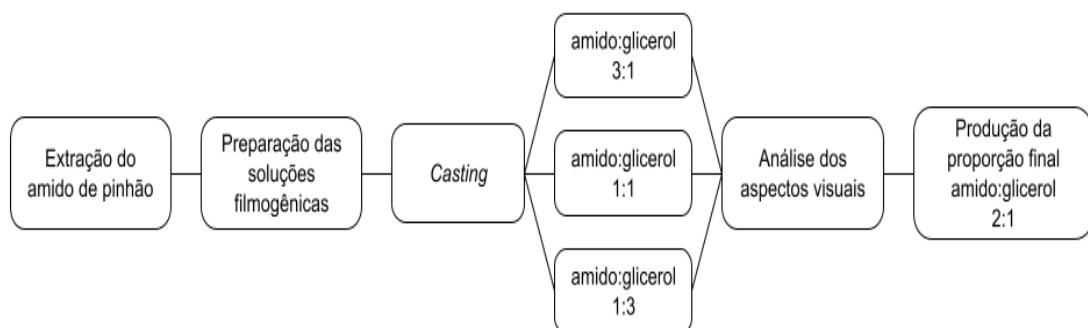
Em seguida a solução foi espalhada em uma placa de Petri e levada para estufa a 40°C por 24 horas para a total evaporação do solvente. O filme foi formado na superfície da placa (VIÉGAS, 2016; MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010; COSTA *et al.*, 2017).

3.1.3 Produção das amostras

As amostras de proporções 3:1, 1:1 e 1:3 foram analisadas quanto aos aspectos visuais, sendo eles no decorrer da técnica de *casting* e após secagem, relacionado com a aparência, sensibilidade ao toque e solidificação do filme em si, visando o potencial de utilização.

Após tais análises, foi produzida uma proporção final de amido:glicerol de 2:1 com a adição de corante alimentício na coloração azul, com o intuito de tornar o filme menos transparente, diminuindo a visibilidade dos rejeitos que serão acondicionados, e consequentemente com maior proximidade de uma sacola plástica usual. Foram utilizadas duas bandejas, uma de plástico e uma de vidro, ambas com dimensões 40cm X 25cm, para secagem. Por fim, a bandeja de polietileno resultou na amostra I e a de vidro nas amostras II e III. A Figura 2 e a Tabela 1 expressam o processo de produção das diferentes proporções filmogênicas.

Figura 2 - Etapas do processo de preparo do biofilme.



Fonte: Dados das autoras.

Tabela 1 - Preparo da formulação final.

Proporção amido:glicerol	Proporção de solutos	Massa de solutos	Proporção soluto:solvente	Volume de água destilada
2: 1	24 g : 12 g	36 g	1 g : 10 mL	360 mL

Fonte: Dados das autoras (2021).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS BIOFILMES

3.2.1 Espectroscopia de infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A análise de FTIR decorreu com o objetivo de examinar as possíveis interações entre os componentes dos filmes (VIÉGAS, 2016). Essa análise desenrolou-se através de Espectros de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), no departamento de Química da UNIOESTE, utilizando o módulo de Refletância Total Atenuada (ATR) da marca Perkin-Elmer, na região de 600 a 4000 cm⁻¹, com uma resolução de 4 cm⁻¹.

3.2.2 Análise Termogravimétrica (TGA)

A análise termogravimétrica foi realizada utilizando um analisador térmico simultâneo (PerkinElmer, modelo STA6000) com taxa de aquecimento de 10 °C.min⁻¹, atmosfera de N₂ a 50 mL.min⁻¹ com aproximadamente 10 mg de amostra em cadinho de platina, faixa de 50 a 900 °C.

3.2.3 Gramatura

O cálculo da gramatura foi constatado utilizando a razão entre a massa do filme dividida pela respectiva área ocupada, sendo o resultado expresso em g/cm²:

$$G = \frac{10000 * m_s}{A}$$

Onde G é a gramatura expressa em g/cm², m_s é a massa do filme e A é a área ocupada pelo filme (SILVA, 2011).

3.2.4 Espessura

A medida da espessura dos filmes foi feita a partir do uso de um paquímetro digital com resolução de 0,001 mm, em 10 posições aleatórias para cada amostra. Decorreu-se o cálculo da média dos valores de dez leituras (COSTA *et al.*, 2017).

3.2.5 Teor de umidade

Para determinar o teor de umidade do filme obtido, foram pesadas amostras de 4 cm² previamente pesadas e inseridas em estufa a 105°C por 24 horas. (STANDARD METHODS, 1967 *apud* SILVA, 2011). O teor de umidade se deu a partir do cálculo do seguinte modo:

$$U (\%) = \frac{MASSA\ INICIAL - MASSA\ FINAL}{MASSA\ INICIAL} \times 100$$

3.2.6 Solubilidade em água

A solubilidade em água dos filmes teve sua determinação feita de acordo com Silva (2011): os filmes foram cortados em pedaço de 4 cm² e secos em estufa a 105 °C por 24 horas para peso constante e, posteriormente, pesados para obter o peso inicial do filme seco. O pedaço de filme sucedeu sendo colocado em um bêquer com 80 ml de água destilada sob agitação magnética a 25 °C durante 24 h.

Então, os filmes retornaram à estufa a 105 °C por mais 24 horas, e pesados para obtenção do peso final do filme. Através desta técnica deu-se como possível obter a perda de massa do material por solubilização (PM). O cálculo se deu do seguinte modo:

$$PM (\%) = \frac{MASSA\ INICIAL - MASSA\ FINAL}{MASSA\ INICIAL} \times 100$$

4 ANÁLISES E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 OBTENÇÃO DO AMIDO DE PINHÃO

A obtenção do amido de pinhão resultou em rendimento de 23,7% a partir do pinhão com casca, superior ao encontrado por Silva (2011) de 19,4%. O pinhão sem casca e o amido de pinhão obtido são apresentados na figura 6. Outras fontes de amido apresentam valores próximos ao obtido, como é o caso da mandioca (20,43%), a mandioquinha-salsa (15,17%) e a batata-doce (14,72%) (LEONEL; CEREDA, 2002). Assim, pode-se afirmar que o pinhão é uma fonte rentável de amido. Na Figura 3, pode-se observar o pinhão utilizado e o amido obtido após o processo de extração.

Figura 3 - Pinhão, obtido em comércio local, após descascamento (6a) e amido de pinhão, obtido no laboratório do IFPR Campus Cascavel (6b).



6a



6b

Fonte: Dados das autoras.

4.2 ESCOLHA DA FORMULAÇÃO FINAL

A fim de encontrar a proporção amido:glicerol que apresentava as melhores características prévias às análises de caracterização, as proporções de 3:1, 1:1 e 1:3 foram avaliadas quanto à seus aspectos visuais, os quais estão apresentados na Figura 4.

Figura 4 - Aspecto visual das proporções 3:1 (7a), 1:1 (7b), e 1:3 (7c).



7a



7b



7c

Fonte: Dados das autoras.

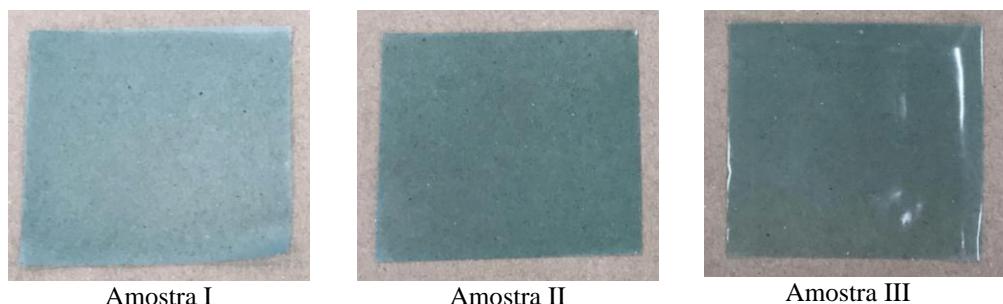
A amostra 1:3 apresentou grande deformidade devido à alta concentração de glicerol na formulação, se apresentando sem utilidade para o objetivo deste trabalho, pois os resíduos do aditivo plastificante se encontravam na superfície o que tornou a amostra aderente à pele e dificultou seu manuseio. Do mesmo modo, a amostra 1:1 apresentou tenacidade leve, porém, boa elasticidade e

média resistência, quando avaliada a força mecânica manualmente. A amostra 3:1 apresentou a maior resistência entre as três amostras, mas com pouca elasticidade e mobilidade, o que poderia dificultar o manejo.

As características observadas direcionaram à uma nova proporção, que possuísse resistência e elasticidade satisfatórias, e aderência que não prejudicasse o uso do filme. Logo, foi produzida uma amostra com proporção de amido:glicerol de 2:1, cujos aspectos seriam intermediários dos filmes 3:1 e 1:1.

Assim, foram produzidas três amostras de proporções 2:1 para fins de caracterização físico-química, as quais são apresentadas na Figura 5.

Figura 5 - Amostras 2:1 obtidas.

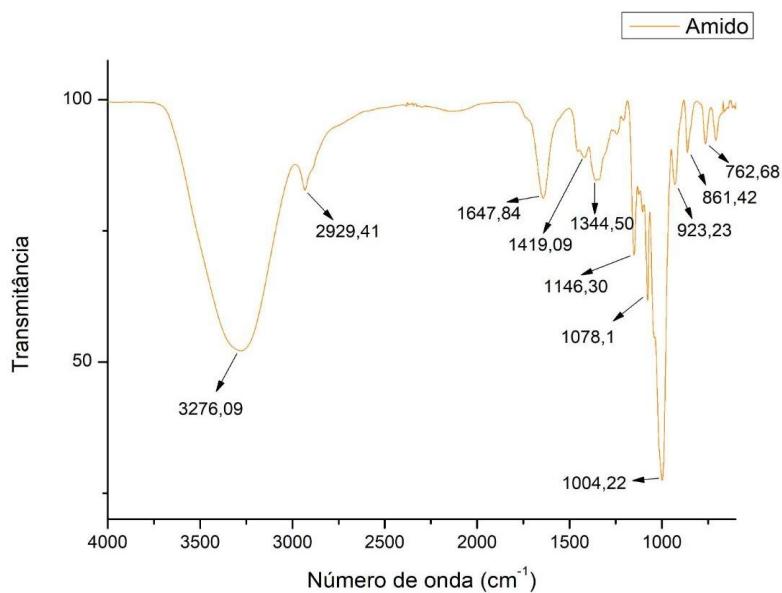


Fonte: Dados das autoras.

4.3 ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

A análise de Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier foi realizada com o intuito de inquirir a composição química do biofilme, seus grupos funcionais, estrutura e se o mesmo com a adição de corante apresentaria alguma interferência nos respectivos resultados ou divergência na composição vinculada ao amido posteriormente aos processos de produção do filme. Na Figura 6 é apresentado o gráfico do espectro FTIR para o amido de pinhão.

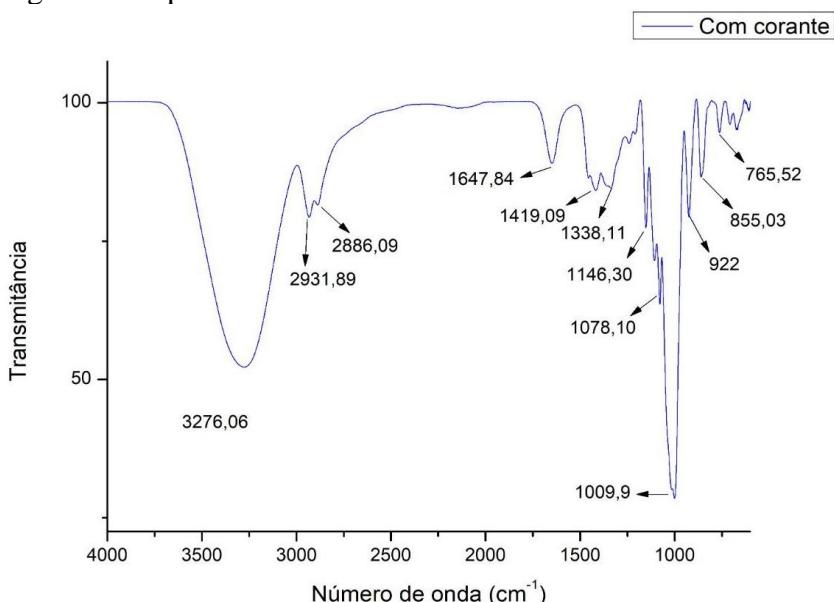
Figura 6 - Espectro na região de infravermelho do amido de pinhão.



Fonte: Dados das autoras.

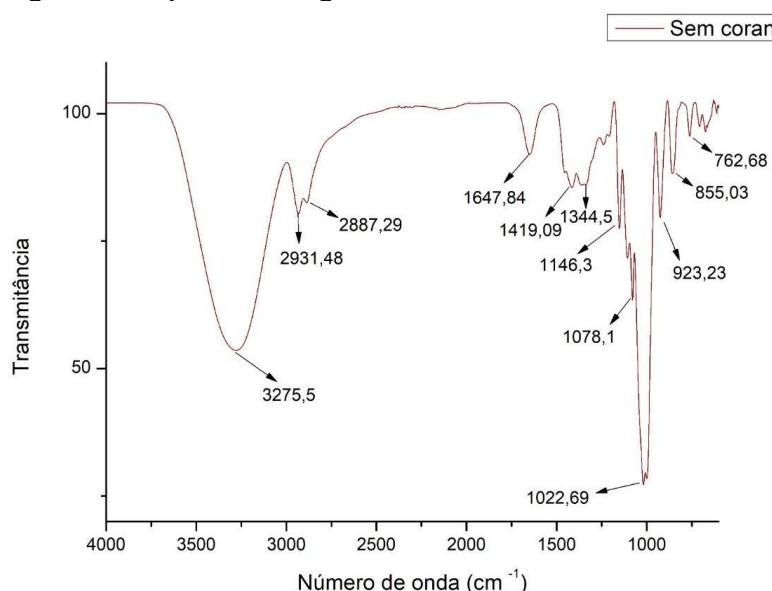
De modo a contrapor os dados da espectroscopia do biofilme com e sem corante, nas Figuras 7 e 8, os resultados não se mostraram díspares quanto às estruturas ou composição química. No entanto, pequenas alterações podem ser constatadas, cada gráfico expressa um aumento significativo na vibração de frequência no estiramento 4, deformação axial do éter, que pode derivar de um anel aromático que eleva a tensão gradualmente nas Figuras 6, 7 e 8.

Figura 7 - Espectro de infravermelho do biofilme com corante



Fonte: Dados das autoras.

Figura 8 - Espectro na região de infravermelho do biofilme sem corante



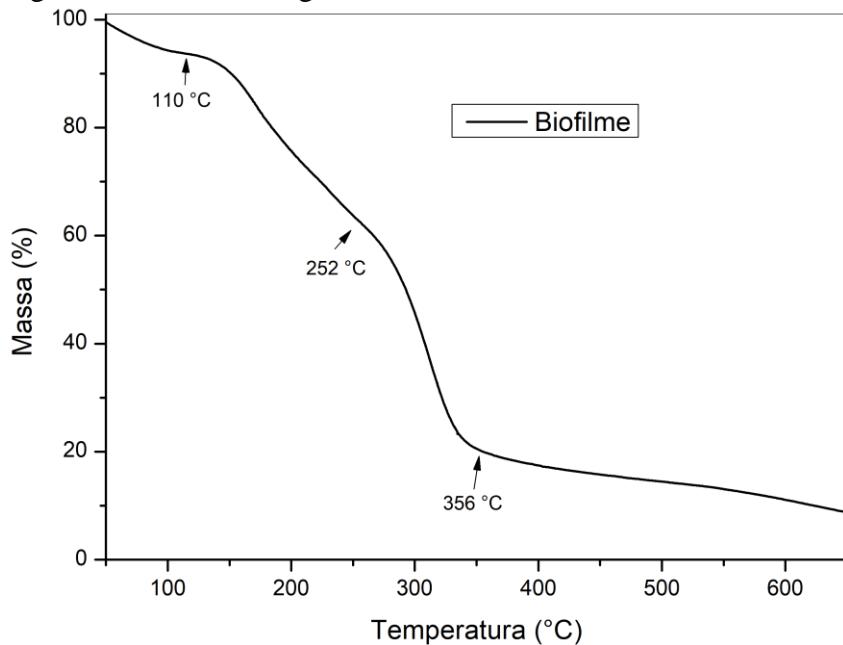
Fonte: Dados das autoras.

Por fim, em similaridade com os autores Maia (2016) e Mendes (2009) as bandas 1 se apresentaram de forma larga no gráfico referente ao amido (Figura 6), condizente com as estruturas poliméricas do amido, sendo respectivamente analisados nos trabalhos citados o amido de milho e de batata. Em relação às deformações pertinentes às vibrações que cada grupo funcional absorve de frequência característica do infravermelho (MOVASAGHI *et al.*, 2008), tais autores relataram semelhantes picos e números de onda quando pertinentes ao amido, principalmente relacionada a sua formação de cadeias poliméricas.

4.4 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TGA)

Para verificar o perfil de estabilidade térmica do biofilme foi realizada a análise termogravimétrica. A Figura 9 mostra o perfil termogravimétrico (TGA) para o biofilme de amido de Pinhão e suas respectivas regiões de perda de massa.

Figura 9 - Curva termogravimétrica do biofilme de amido de Pinhão



Fonte: Dados das autoras.

Através da Figura 9, observou-se que o biofilme produzido apresenta três estágios de perda de massa. Resultados encontrados neste trabalho são relativamente próximos aos encontrados por Bona (2007), que em suas análises de TGA para filmes biodegradáveis de amido de mandioca, identificou três estágios de degradação. O primeiro estágio está relacionado à degradação térmica de produtos de menor massa molar, como as moléculas de água, até uma temperatura de 183,8 °C. No segundo estágio, houve a degradação de produtos de maior massa molar, como o amido de mandioca. E por último, o terceiro estágio refere-se à degradação final da amostra, ocorrendo a uma temperatura de 354,0 °C. Neste trabalho, a terceira perda de massa ocorre em torno de 356 °C, indicando que o biofilme sintetizado apresenta boa resistência a altas temperaturas.

4.5 ESPESSURA E GRAMATURA

A média das análises de espessura e gramatura e seus respectivos desvios padrões estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados obtidos nas análises de espessura e gramatura do filme.

	Espessura (mm)	Gramatura (g/cm ²)
Amostra I	0,249±0,028	0,030±0,005
Amostra II	0,298±0,034	0,046±0,004
Amostra III	0,198±0,054	0,037±0,004

Fonte: Dados das autoras.

A espessura é uma importante caracterização dos filmes biodegradáveis pois quanto maior a espessura, maior a resistência à perfuração e a permeabilidade ao vapor de água (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

Paulino (2016) caracterizou filmes de amido de pinhão, com glicerol e óleo de alecrim como aditivos, quanto à espessura e gramatura. A formulação 8 (3,0 g de amido, 0,7 g de glicerol e 0,8 g de óleo de alecrim) apresentou a maior espessura, 0,11 mm, dentre as 8 formulações propostas em seu estudo. Segundo a autora, a composição do filme influencia a espessura, e a maior espessura apresentava a maior concentração de solutos na solução.

A grande distinção dos valores encontrados neste trabalho para os valores encontrados por Paulino (2016) pode ser explicada pela relação da espessura com a gramatura dos filmes. No presente trabalho, a amostra 2 apresentou a maior espessura (0,298 mm) e a maior gramatura (0,046 g/cm²). Já no trabalho de Paulino (2016), a formulação 8 apresentou a maior espessura (0,11 mm) e maior gramatura (0,0173 g/cm²). Assim, é visto que essas duas características físicas são diretamente proporcionais (PAULINO, 2016).

O mesmo é visto no trabalho do autor Silva (2011), que encontrou filmes de amido de pinhão, glicerol e goma xantana, com proporção de amido:glicerol de aproximadamente 3:1 (7,5 g de amido, 2,25 g de glicerol e 0,001 g de goma xantana) com espessura de 0,11 mm e gramatura de 245 g/m² (0,0245 g/cm²).

Os autores Farias *et al.* (2012) concluíram que a adição de glicerol em filmes de amido de mandioca promove o aumento da espessura. É possível associar esse efeito a filmes de amido de pinhão, como é observado ao comparar os valores deste trabalho com os de Paulino (2016) e Silva (2011). Logo, é possível observar que a espessura e a gramatura são diretamente proporcionais e que a técnica de *casting* permite o controle da espessura de acordo com a aplicação do filme.

Além disso, é importante ressaltar que os trabalhos de Paulino (2016) e Silva (2011) objetivaram a produção de um filme biodegradável para uso na indústria alimentícia, diferente do estabelecido no presente trabalho, que propõe um filme com maior resistência devido a sua utilidade. Assim, a espessura e gramatura do filme desenvolvido neste trabalho colaboraram para o objetivo de sustentar o peso dos rejeitos sanitários.

4.6 TEOR DE UMIDADE E SOLUBILIDADE EM ÁGUA

A média das análises de umidade e solubilidade em água e seus respectivos desvios padrões estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados obtidos nas análises de umidade e solubilidade do filme.

	Umidade (%)	Solubilidade em água (%)
Amostra I	$37,08 \pm 3,6$	$40,09 \pm 3,8$
Amostra II	$35,16 \pm 0,6$	$39,91 \pm 5,2$
Amostra III	$36,05 \pm 1,27$	100

Fonte: Dados das autoras.

A umidade dos filmes, a solubilidade e seu encadeamento com o efeito que a água tem diretamente nos filmes é de grande relevância, podendo ser considerada como problemática por alguns autores, como Thiré *et al.* (2004), que buscaram desenvolver um revestimento que agisse como uma barreira à água por meio da polimerização do plasma. Contudo, o objetivo deste trabalho difere, pois busca um filme que sofra interações com a água de modo a melhorar sua degradabilidade.

Os autores Costa *et al.* (2017) encontraram umidade igual à 26,50% em filme de amido de feijão macácar com proporção de 10 g amido para 3 g de glicerol (aproximadamente 3,33:1) e identificaram que o aumento da quantidade de plastificante na solução confere maior umidade para os filmes. Esse efeito é consequência do aumento do caráter hidrofílico dos filmes na presença do glicerol (COSTA *et al.*, 2017).

Paralelamente, os resultados encontrados pelas autoras Poloni e Santos (2020) indicam que o aumento da concentração de glicerol na formulação do filme causa o aumento da umidade e solubilidade em água. O filme de amido de milho e glicerol apresentou $35,33 \pm 2,07\%$ de umidade e não interferiu na aparência e cor quando comparado ao filme com $16,67 \pm 2,66\%$ de umidade.

Correspondente à umidade dos filmes, a solubilidade é uma característica fundamental para determinar a aplicação dos filmes. Segundo Silva (2011), quanto maior o armazenamento necessário, menor deve ser a solubilidade do filme utilizado e, se uma rápida degradação é desejada, a solubilidade deve ser alta.

Bello-Pérez *et al.* (2006) identificaram que os filmes de amido de pinhão apresentam uma maior solubilidade em relação a filmes de amido de milho como consequência de irregularidades microscópicas na superfície e tamanho microscópico ligeiramente maior dos grânulos de amido de pinhão.

A amostra III foi totalmente solubilizada durante a análise, assim, cabe uma discussão acerca deste resultado. Os autores Matta *et al.* (2011) associaram maiores espessuras à maiores solubilidades, logo, filmes menos espessos apresentaram baixas solubilidades. Entretanto, para os autores, a baixa espessura dos filmes foi consequência do baixo teor de solutos utilizados na solução filmogênica, uma vez que se utilizou a mesma quantidade de solvente para todas as concentrações.

Neste trabalho, observa-se que a amostra III apresentou a mesma concentração de solutos das amostras I e II e que a baixa espessura torna o filme mais passível ao desgaste pela água durante a etapa de agitação na análise. Desse modo, a solubilidade de filmes de amido pode ter contribuição de diversos fatores inerentes a sua produção. Além disso, a solubilização de 100% da amostra III contribui para a rápida degradação do material.

Portanto, a alta solubilidade encontrada para os filmes neste trabalho colabora para alcançar o objetivo de rápida degradação da sacola que transporta resíduos sanitários. Uma vez que elas serão constantemente substituídas e descartadas, as sacolas são, em poucos dias, transportadas para os aterros sanitários onde cumprirão seu papel de conservar o meio ambiente e não poluir o espaço de resíduos ainda mais.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho conduziu a síntese de filmes biodegradáveis a partir de amido de pinhão, fornecendo uma nova proposta quanto a proporção de amido:glicerol, que direcionam o uso de um material degradável como uma alternativa sustentável cada vez mais viável.

Mediante os resultados de espessura, gramatura, umidade e solubilidade, constatou-se uma medida viável de substituição parcial das sacolas plásticas, porém, infere-se a necessidade de maiores pesquisas relacionadas ao rendimento da principal matéria-prima, o pinhão, outras análises para caracterização e possíveis alterações visando a melhoria dos biofilmes em diferentes situações que possam ser submetidos.

REFERÊNCIAS

BEATRIZ, Adilson; ARAÚJO, Yara J. K.; LIMA, Dênis Pires de. Glicerol: um breve histórico e aplicação em sínteses estereosseletivas. *Química Nova*, v. 34, n. 2, p. 306-319, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000200025>>. Acesso em: 09 dez. 2021.

BELLO-PÉREZ, Luis Arturo; GARCÍA-SUÁREZ, Francisco J.; MÉNDEZ-MONTEALVO, Guadalupe; NASCIMENTO, João Roberto Oliveira do; LAJOLO, Franco Maria; CORDENUNSI, Beatriz Rosana. Isolation and Characterization of Starch from Seeds of *Araucaria brasiliensis*: A

Novel Starch for Application in Food Industry. **Starch - Stärke**, 58(6), 283–291, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/star.200500455>>. Acesso em: 30 nov. 2021.

BONA, J. C. Preparação e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de blendas de amido com polietileno. 2007, 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2007. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/30370698.pdf>>. Acesso em maio de 2024

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Presidência da República. RESOLUÇÃO N° 16, DE 6 DE SETEMBRO DE 2021. Estabelece como de interesse da Política Energética Nacional a redução do teor de mistura obrigatória do biodiesel no óleo diesel fóssil de 13% (treze por cento) para 10% (dez por cento), no 82º Leilão de Biodiesel. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 set. 2021. p. 2. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/despacho-do-presidente-da-republica-344146044>>. Acesso em: 08 dez. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Site oficial do Ministério do Meio Ambiente. Nota Técnica. Posicionamento do Ministério do Meio Ambiente sobre o acordo da Associação Paulista de Supermercados (APAS) para a suspensão da distribuição gratuita de sacolas plásticas. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/nota-sacolas-plasticas>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

COSTA, Djeson Mateus Alves da; SANTOS, Andréia Ferreira dos; SILVA, Elaine Diniz da; SILVA, Irinalva Avelino da. Desenvolvimento e caracterização de filmes à base de amido de feijão macácar (*Vigna unguiculata* (L.) Wap). **Holos**, v.7, n.33, p.2-16, 2017. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=481554852002>. Acesso em: 10 mar. 2021.

DAIUTO, Érica Regina; CEREDA, Marney Pascoli; CARVALHO, Luiz Joaquim Castelo Branco. Características e Propriedades do Amido Extraído de Camadas do Tecido da Raiz de Mandioca cv. Mico (Manihot esculenta Crantz). **Brazilian Journal Of Food Technology**, v.5, p.217-223, 2002. Disponível em: <<http://bjft.ital.sp.gov.br/arquivos/artigos/v5nu102a.pdf>>. Acesso em: 08 de mar. 2021.

DENARDIN, Cristiane Casagrande; SILVA, Leila Picolli da. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v.39, n.3, p.945-954, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-8478200900500003>>. Acesso em: 08 mar. 2021.

DEUS, Erika Gonçalves Santos Queiroga de; AFONSO, Bruno Pellizzaro Dias; AFONSO, Tarcisio. Consciência ambiental, atitudes e intenção de uso das sacolas plásticas não-recicláveis. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v.3, n.1, p.71-87, 2014. Disponível em: <<http://www.spell.org.br/documentos/ver/39451/consciencia-ambiental--atitudes-e-intencao-de-uso-das-sacolas-plasticas-nao-reciclageis>>. Acesso em: 08 de mar. 2021.

EMBRAPA. Extração do amido de pinhão. **Embrapa Florestas**. 2014. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/121312/1/CT-349-Catie-.pdf>>. Acesso em: 26 jul. 2021.

FARIAS, Mônica Guimarães; FAKHOURI, Farayde Matta; CARVALHO, Carlos Wanderlei Piler de; ASCHERI, José Luis Ramírez. Caracterização físico-química de filmes comestíveis de amido adicionado de acerola (*Malphigia emarginata* DC). **Química Nova**, v. 35, p. 546-552, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000300020>>. Acesso em: 16 nov. 2021.

GOMES, Gleice Valéria Pacheco; SILVA, Jania Betania Alves da; JESUS, Denilson Assis de; FONSECA, Ananda Freitas; SOUZA, Luciane Santos; DRUZIAN, Janise Izabel. Preparação de Filmes Flexíveis de Amido de Mandioca Plastificados com Goma Xantana Obtida de Bagaço de Cana-de-açúcar e Glicerol. 2013. 4p. **12º Congresso Brasileiro de Polímeros (12ºCBPol)**. Universidade Federal da Bahia, 2013. Disponível em: <<http://e-democracia.com.br/cbpol/anais/2013/pdf/6FWK.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2021.

HORN, Marilia Marta. **Blendas e filmes de quitosana/amido de milho: estudo da influência da adição de polióis, oxidação do amido e razão amilose/amilopectina nas suas propriedades**. 2012. 147p. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75135/tde-17042012-165937/en.php> . Acesso em: 15 de mar. 2021.

LEONEL, Magali; CEREDA, Marney Pascoli. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Food Science and Technology**, v. 22, n. 1, p. 65-69, 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0101-20612002000100012>>. Acesso em: 30 nov. 2021.

LORENZETT, Juliana Benitti; RIZZATTI, Cláudia Bach; LORENZETT, Daniel Benitti; GODOY, Leoni Pentiad. Sacolas plásticas: uma questão de mudança de hábitos. **Revista monografias ambientais**, v.11, n.11, p.2446-2454, 2013. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/index.php/remoa/article/view/7725>>. Acesso em: 04 de mar. 2021.

MAIA, Nadya Virginia Lima Peixoto. **Produção e caracterização de blendas poliméricas com poli (3-hidroxibutirato)(PHB) e amido de milho para produção de plástico biodegradável**. 2016. 128p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/172365>>. Acesso em: 11 de mar. 2021.

MALI, Suzana; GROSSMANN, Maria Victória Eiras; YAMASHITA, Fábio. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.31, n.1, p.137-155, 2010. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744095013>>. Acesso em: 08 de mar. 2021.

MATTA JR, Manoel D. da; SARMENTO, Silene B. S.; SARANTÓPOULOS, Claire I. G. L.; ZOCCHI, Silvio S. Propriedades de barreira e solubilidade de filmes de amido de ervilha associado com goma xantana e glicerol. **Polímeros**, v. 21, p. 67-72, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0104-14282011005000011>>. Acesso em: 30 nov. 2021.

MENDES, Fernanda Miranda. **Produção e caracterização de bioplásticos a partir de amido de batata**. 2009. Dissertação (Mestrado em Físico-Química) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75131/tde-11032010-104107/en.php>>. Acesso em: 30 nov. 2021.

MOVASAGHI, Zanyar; REHMAN, Shazza; UR REHMAN, Dr Ihtesham. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy of biological tissues. **Applied Spectroscopy Reviews**, v. 43, n. 2, p. 134-179, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/05704920701829043>>. Acesso em: 30 nov. 2021.

OLIVEIRA, Luzibênia Leal de; LACERDA, Cícero de Sousa; ALVES, Isabel Joselita Barbosa da Rocha; SANTOS, Edilene Dias; OLIVEIRA, Sanuyla de Albuquerque; BATISTA, Tatyane Sales de Araújo. Impactos ambientais causados pelas sacolas plásticas: o caso Campina Grande – PB.

Revista de Biologia e Farmácia, Campina Grande, Paraíba, v.7, n.1, p.88-104, 2012. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/7834138-Impactos-ambientais-causados-pelas-sacolas-plasticas-o-caso-campina-grande-pb.html>>. Acesso em: 08 de mar. 2021.

PAULINO, Jéssica Aparecida. **Caracterização de filmes de amido de pinhão com atividade antimicrobiana**. 2016. 46p. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Alimentos) - Departamento de Alimentos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/7725>>. Acesso em: 14 nov. 2021.

PNUMA. **O Caribe enfrenta o problema da poluição plástica**. 19 jun. 2019. Disponível em: <<https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/story/o-caribe-enfrenta-o-problema-da-poluicao-plastica>>. Acesso em: 30 nov. 2021.

POLESI, Luis Fernando. **Amido resistente obtido a partir de amido de leguminosas e de seus hidrolisados**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11141/tde-09092009-150507/en.php>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

POLONI, Carine Aparecida; SANTOS, Priscilla Pereira dos. **Desenvolvimento de filmes biodegradáveis de amido de mandioca**. In: 9º JEPEX e 3º Mostra Cultural. 2020. Disponível em: <<https://eventos.ifrs.edu.br/index.php/JEPEXErechim/JepexErechim2020/paper/view/8964>>. Acesso em: 30 nov. 2021.

REIS, Letícia Caribé Batista; BARCELLOS, Amanda Desireux; MACHADO, Bruna Aparecida Souza; DRUZIAN, Janice Izabel. Filme biodegradável incorporado com glicerol e aditivos naturais. **Cadernos de Prospecção**, v.4, n.4, 23p, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.9771/cp.v4i4.11516>>. Acesso em: 10 de mar. 2021.

REIS, Renata Cunha dos; ASCHERI, Diego Palmiro Ramirez; DEVILL, Ivano Alessandro. Propriedades físicas do tubérculo e propriedades químicas e funcionais do amido de inhame (Dioscorea sp.) cultivar São Bento. **Revista Agrotecnologia**, v.1, n.1, p.71-88, 2012. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/270497097>>. Acesso em: 08 de mar. 2021.

ROSA, Derval dos Santos; GABOARDI, Flávia; GUEDES, Cristina das Graças Fassina; CALIL, Maria Regina. Influence of oxidized polyethylene wax (OPW) on the mechanical, thermal, morphological and biodegradation properties of PHB/LDPE blends. **Journal of materials science**, v. 42, n. 19, p. 8093-8100, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10853-007-1701-z>>. Acesso em: 15 de mar. 2021.

SANTOS, Amélia S. F.; FREIRE, Fernando H. de O.; COSTA, Brenno L. N. da; MANRICH, Sati. Sacolas plásticas: destinações sustentáveis e alternativas de substituição. **Revista Polímeros, Ciência e tecnologia**, v.22, n.3, p.228-237, 2012. Disponível em: <<https://revistapolimeros.org.br/journal/polimeros/article/doi/10.1590/S0104-14282012005000036>>. Acesso em: 06 de mar. 2021.

SHIMAZU, Angélica Aimoto; MALI, Suzana; GROSSMAN, Maria Victória Eiras. Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, Paraná, v.28, n.1, p.79-88, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2007v28n1p79>>. Acesso em: 10 de mar. 2021.

SILVA, Everton Menezes da. **Produção e caracterização de filmes biodegradáveis de amido de pinhão**. 2011. 43 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/38562>>. Acesso em: 09 mar. 2021.

SOUZA, Roberta C. R.; ANDRADE, Cristina T. Investigação dos processos de gelatinização e extrusão de amido de milho. **Polímeros**, São Carlos, v.10, n.1, p.24-30, 2000. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0104-14282000000100006>>. Acesso em: 08 de mar. 2021.

TAGGART, P. Starch as an ingredient: manufacture and applications. **Starch in food: Structure, function and applications**, p. 363-392, 2004. Disponível em: <https://coek.info/download/starch-as-an-ingredient-manufacture-and-applications_5b844cc7d64ab2fe2badaeb2.html>. Acesso em: 08 dez. 2021.

THIRÉ, Rossana M. S. M.; SIMÃO, Renata A.; ARAÚJO, Pedro J. G.; ACHETE, Carlos A. Redução da hidrofilicidade de filmes biodegradáveis à base de amido por meio de polimerização por plasma. **Polímeros**, v. 14, p. 57-62, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0104-14282004000100015>>. Acesso em 24 nov. 2021.

UDA, Carla Fernanda; PUTAROV, Nathalia Bortolato; BAVELLONI, Patricia Lopes; MARCOLINO, Vanessa Aparecida. Extração e caracterização do grão de amido de batata, batata-doce e mandioca. **Revista Uningá**, v.17, n.1, 9p., 2008. Disponível em: <<http://ec2-34-233-57-254.compute-1.amazonaws.com/index.php/uninga/article/view/692>>. Acesso em: 06 de mar. 2021.

VIANA, Maurício Boratto. Sacolas plásticas: aspectos controversos de seu uso e iniciativas legislativas. Brasília, DF: **Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados**, v.15, 25p., 2010. Consultoria Legislativa, Brasília, 2010. Disponível em: <<https://bd.camara.leg.br/bd/handle/bdcamara/4686>>. Acesso em: 08 de mar. 2021.

VIÉGAS, Larissa Paiva. **Preparação e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de amido com quitosana para aplicação em embalagens de alimentos**. 2016. 90p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Vers%C3%A3o-Press%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2021.

WWF. **Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico**. Brasil, 04 mar. 2019. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>>. Acesso em: 29 nov. 2021.