



**UnB**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE QUÍMICA**

**Giovanna Cassiano Azevedo Arantes**

**UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE PARA  
PREPARAÇÃO DE BIOMATERIAIS: UMA PROPOSTA  
DE ECONOMIA CIRCULAR AO SETOR CERVEJEIRO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**Brasília – DF**

**1.º/2022**



**UnB**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE QUÍMICA**

**Giovanna Cassiano Azevedo Arantes**

**UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE PARA  
PREPARAÇÃO DE BIOMATERIAIS: UMA PROPOSTA  
DE ECONOMIA CIRCULAR AO SETOR CERVEJEIRO**

Monografia submetida ao curso de graduação em Química Tecnológica da Universidade de Brasília, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Química Tecnológica.

**Orientadora:** Prof.<sup>a</sup> Dra. Grace Ferreira Ghesti  
**Coorientador:** Msc. Romulo Coriolano Dutra

**1.º/2022**

## ***AGRADECIMENTOS***

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus porque sem ele eu não teria conseguido chegar até aqui.

Agradeço a minha família por todo apoio, principalmente ao meu pai, que me deu todo amor, carinho, suporte emocional e financeiro para que eu pudesse realizar meu sonho de me formar em Química, agradeço também aos meus avós por toda a paciência e carinho que tiveram comigo em todas as etapas.

Ao Lucas Dornelas por todo o carinho, compreensão, cuidado e companheirismo que teve comigo em momentos que eu achei que não seria capaz de ir até o final.

Agradeço a minha orientadora, Prof. Dra. Grace por toda a ajuda, confiança e paciência que teve comigo desde o PIBIC, e por ser minha inspiração profissional desde o primeiro semestre da graduação.

Agradeço ao Romulo, que teve a paciência de me ajudar em todas as caracterizações, aprendi muito com nossas conversas.

## ***RESUMO***

Em razão da preocupação com o meio ambiente, a procura de novas tecnologias para substituir a utilização de recursos fósseis em atividades essenciais, a diminuição do acúmulo de plásticos descartados de maneira incorreta, têm se intensificado. Há ainda a procura de um novo tipo de economia, a economia circular, que prevê o reaproveitamento de materiais que seriam descartados agregando valor aos materiais para que esses possam ser vendidos ou reutilizados na cadeia produtiva. Uma solução para tais problemas são os plásticos produzidos a partir de fontes renováveis com o uso de fibras como reforço nos polímeros. No presente trabalho foram produzidas 13 amostras de biopolímeros utilizando amido, glicerol (oriundo da indústria do biodiesel) e celulose, oriunda do bagaço de malte do setor cervejeiro, com concentrações diferentes seguindo uma metodologia de planejamento fatorial. Foram realizadas algumas técnicas de caracterização dos materiais, onde foi determinado que os biopolímeros produzidos possuem características diferentes e portanto possuem finalidades diferentes. Identificou-se que os biopolímeros mais maleáveis são aqueles que possuem maior razão mássica de glicerol e por esta razão detêm uma alta porcentagem de umidade e solubilidade. Por meio das análises de DSC, foi observado que ao adicionar o aditivo, bagaço de malte, no filme há o aumento da rigidez. Os filmes produzidos são uma alternativa no contexto da economia circular para resíduos da indústria cervejeira, visto que o estudo comprovou suas propriedades para diferentes finalidades.

**Palavras-chaves:** bioplásticos, biopolímeros, bagaço de cerveja e economia circular

## ***ABSTRACT***

Due of the concern for the environment, there is a demand for new technologies, to replace a use of fossil resources in activities and an increase in the use of incorrect plastic resources, there is a type of traditional economy, circular economies of a again incorrect, a circular economy Provides for the reuse of materials that would be discarded in aggregates so that these materials could return to the economy. A solution to this problem is plastics from renewable sources with the use of fibers as reinforcement in polymers. Table of polymers used, starch, glycol and cellulose from the brewer's bag, with different changes following the experimental design found1 in the text. Some materials characterization techniques were presented, where the best polymers to be used according to their purpose were determined. It was identified that the malleable polymers are those that have a higher glycerol ratio and for this reason they have a higher index and solubility. The use of the DSC film that when adding the additive does not increase its resistance. Biodiesel films are an alternative for the circular economy of waste and the biodiesel industry industry, since the study proved or its alternative characteristics for these purposes.

**Palavras-chaves:** bioplastics, biopolymers, beer bagasse and circular economy

## *LISTA DE ILUSTRAÇÕES*

Figura 1. Ciclo do bioplástico .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>	4
Figura 2. Estrutura química da celulose. ....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>	6
Figura 3. Estrutura química do amido. ....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>	
Figura 4. Estrutura química do glicerol. ....		18
Figura 5. Esquema de economia circular do glicerol. ....		20
Figura 6. Filmes utilizando bagaço de malte, holocelulose e celulose vistos no microscópio. ....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>	7
Figura 7. DSC da amostra de amido e glicerol e da amostra oito (8).	<b>Erro! Indicador não definido.</b>	9
Figura 8. Gráfico de termogravimetria da amostra de amido, glicerol e bagaço .....		30
Figura 9. Gráfico de termogravimetria da amostra de amido, glicerol e holocelulose.....		30
Figura 10. Gráfico de termogravimetria da amostra de amido, glicerol e celulose.....		31
Figura 11. Gráfico de termogravimetria das amostras 1 e 2.....		31
Figura 12. Gráfico de termogravimetria das amostras 3 e 4.....		31
Figura 13. Gráfico de termogravimetria das amostras 5 e 6.....		32
Figura 14. Gráfico de termogravimetria das amostras 7 e 8.....		32
Figura 15. Gráfico de termogravimetria da amostra 13.....		32
Figura 16. Espectro de IV da amostra de amido e glicerol.....		33
Figura 17. Espectro de IV da amostra com aditivo de bagaço, holocelulose e celulose .....		34
Figura 18. Espectro de IV da amostra 6 .....		34
Figura 19. Teste de biodegradabilidade dos filmes nos dias 0, 3 e 5 de experimento.....		35
Figura 20. Teste de biodegradabilidade dos filmes nos dias 7, 10 e 12 de experimento.....		35
Figura 21. Teste de biodegradabilidade dos filmes nos dias 14, 17 e 19 de experimento.....		35
Figura 22. Teste de biodegradabilidade dos filmes nos dias 21, 24 e 26 de experimento.....		35
Figura 23. Teste de biodegradabilidade dos filmes nos dias 28 e 31 de experimento.....		36
Figura 24. Biopolímero utilizando amido, glicerol e bagaço sem tratamento observado através de um microscópio .....		36
Figura 25. Biopolímero utilizando amido, glicerol e holocelulose observado através de um microscópio .....		37

Figura 26. Biopolímero utilizando amido, glicerol e celulose observado através de um microscópio .....	37
Figura 27. Amostra 1, 2 e 3 de biopolímeros utilizando amido, glicerol e celulose observado através de um microscópio. ....	37
Figura 28. Amostra 4, 5 e 6 de biopolímeros utilizando amido, glicerol e celulose observado através de um microscópio .....	38
Figura 29. Amostra 7, 8 e 9 de biopolímeros utilizando amido, glicerol e celulose observado através de um microscópio .....	38
Figura 30. Amostra 10, 11 e 12 de biopolímeros utilizando amido, glicerol e celulose observado através de um microscópio .....	38
Figura 31. Amostra 13 do biopolímero utilizando amido, glicerol e celulose observado através de um microscópio .....	38
Figura 32. Esquema de economia circular.....	40

## *LISTA DE TABELAS*

Tabela 1 - Porcentagem de componentes do bagaço. ....	16
Tabela 2 - Quantidade de massa de amido, glicerol e bagaço de malte utilizados para produzir o biopolímero.....	23
Tabela 3 - Quantidade de amido e glicerol utilizados nos filmes feitos para comparação. <b>Erro! Indicador não definido.</b>	24
Tabela 4 - Porcentagem de umidade dos filmes .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b> 7
Tabela 5 - Porcentagem da solubilidade.....	28

## SUMÁRIO

1. Introdução.....	11
2. Revisão da literatura.....	13
2.1. Polímeros.....	13
2.2. Biopolímeros e biodegradabilidade.....	13
2.3. Compósitos.....	15
2.4. Bagaço de malte.....	15
2.5. Amido.....	16
2.6. Glicerol.....	18
2.7. Filmes biodegradáveis de amido.....	18
2.8. Economia Circular.....	19
2.9. Biorrefinaria.....	20
3. Materiais e Métodos.....	21
3.1. Materiais.....	21
3.1.1. Reagentes.....	21
3.1.2. Equipamentos.....	22
3.2. Métodos.....	22
3.2.1. Secagem.....	22
3.2.2. Moagem.....	22
3.2.3. Granulometria.....	22
3.2.4. Obtenção da holocelulose.....	22
3.2.5. Obtenção da celulose.....	23
3.2.6. Síntese do biopolímero.....	23
3.3. Técnicas de caracterização.....	24
3.3.1. Umidade dos filmes.....	24
3.3.2. Solubilidades.....	24
3.3.3. Calorimetria exploratória diferencial (DSC).....	25
3.3.4. Termogravimetria (DTG).....	25
3.3.5. Infravermelho (IV).....	25
3.3.6. Biodegradabilidade.....	25
3.3.7. Microscopia Óptica.....	25
4. Objetivos.....	25
4.1. Gerais.....	25

4.2. Específicos.....	26
5. Resultados e Discussão .....	26
5.1. Tratamento do bagaço .....	26
5.2. Obtenção do biopolímero .....	26
5.3. Caracterização do polímero .....	27
5.3.1. Umidade dos Filmes .....	27
5.3.2. Solubilidade .....	28
5.3.3. Calorimetria exploratória diferencial (DSC) .....	29
5.3.4. Termogravimetria (DTG).....	30
5.3.5. Infravermelho (IV).....	33
5.3.6. Biodegradabilidade .....	35
5.3.7. Microscopia óptica.....	36
5.3.8. Economia circular .....	39
6. Conclusão e Perspectivas .....	40
7. Referências .....	41

## 1. INTRODUÇÃO

O plástico é um material que está no cotidiano, mesmo sem perceber, vai desde a sacolinha do mercado a alguns componentes do carro. Porém, mesmo sendo um material versátil, pode causar sérios danos ao meio ambiente, do momento da sua produção ao descarte incorreto (MARTINS, 2020).

Mesmo com inúmeras funções, o plástico, especialmente os não-biodegradáveis, apresentam dificuldades de serem decompostos, o que causa um acúmulo de lixo sem destinação, poluindo solos e oceanos. Em sua grande maioria, o plástico utilizado é oriundo do petróleo, o que gera outras preocupações com relação a dependência mundial de recursos fósseis, uma vez que estes demoram milhares de anos e necessitam de condições muito específicas para sua formação (MARTINS, 2020).

Existe uma crescente preocupação sobre o meio ambiente e a sustentabilidade, entretanto cresce o número de plásticos produzidos no mundo. Uma solução para diminuir a poluição causada é a reciclagem, porém a média de reciclagem do Brasil ainda é baixa, sendo necessário outras rotas do uso do plástico (JONES, 2020).

A fim de encontrar uma solução para tais problemas, plásticos biodegradáveis, ou biopolímeros têm sido cada vez mais estudados. Plásticos biodegradáveis são plásticos produzidos com fontes renováveis ou com fontes não renováveis, mas ainda havendo uma biodegradabilidade. Entretanto, os biopolímeros produzidos hoje são apenas de 1% de 359 milhões de toneladas de plásticos que são produzidos todo ano (JONES, 2020).

É necessário encontrar maneiras de criar bioplásticos utilizando materiais naturais, feitos a partir de fontes renováveis, a fim de promover um desenvolvimento sustentável. Uma das atuais pesquisas é com a utilização de fibras naturais para auxiliar como reforço, visto que as fibras são formadas por polímeros e possuem uma flexibilidade necessária em um plástico.

O projeto de Lei nº 344 de 2021 visa a proibição e comercialização de plásticos que não sejam recicláveis ou biodegradáveis e outro projeto de Lei com um intuito parecido é o nº 243 de 2017 que determina que os produtos industrializados só poderão utilizar plásticos biodegradáveis como insumo, com a obrigatoriedade de seguir estes projetos de lei, vem a necessidade de produzir plásticos biodegradáveis com menos impacto ambiental.

No Brasil, outro grande problema enfrentado é a quantidade de resíduos das agroindustriais sem destinação. Com o exemplo da indústria cervejeira, onde para cada 100L

de cerveja, geram-se 20kg de bagaço de malte, cujo montante agrega um passivo ambiental, uma vez que a destinação é limitada para outros fins (LIMBERGER, 2014).

Diante do exposto, esse trabalho tem como objetivo propor uma rota de aproveitamento das fibras do bagaço de malte em um polímero biodegradável de amido e glicerol visando os preceitos de economia circular. Logo, o glicerol, subproduto da transesterificação, amido obtido em larga escala e disponibilidade no Brasil, foram selecionados para esses ensaios e estudo.

Os biofilmes foram produzidos utilizando glicerol padrão na tentativa de verificar sua efetividade nos filmes.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1.POLÍMEROS**

Os polímeros são macromoléculas, constituídas de pequenas unidades chamadas monômeros, que são ligados entre si por ligações covalentes, formando cadeias longas. As diferentes constituições e arranjos dos monômeros são responsáveis pelas características dos polímeros, tais como, tamanho de cadeia, morfologia e ligações intramoleculares e intermoleculares. Os monômeros são micromoléculas, substâncias químicas que têm a facilidade de se ligarem formando os polímeros. As características dos polímeros se dão pela resistência das ligações covalentes e das forças intermoleculares entre as moléculas do polímero e está relacionado a rigidez dos segmentos da cadeia polimérica (CANEVAROLO JR., 2002).

Os polímeros podem ser classificados em naturais ou sintéticos, sendo os naturais aqueles que podem ser encontrados na natureza, como os polissacarídeos, monossacarídeos ligados através de ligações glicosídicas (CANEVAROLO JR., 2002). Dois exemplos de polissacarídeos são o amido, que funciona como reserva energética das plantas, e a celulose, responsável pela sustentação das plantas. Com a maior preocupação com o meio ambiente, existem novos estudos que propõe a utilização de polímeros naturais em detrimento de polímeros sintéticos, para a diminuição da dependência de materiais de origem fóssil.

### **2.2.BIOPOLÍMEROS E BIODEGRADABILIDADE**

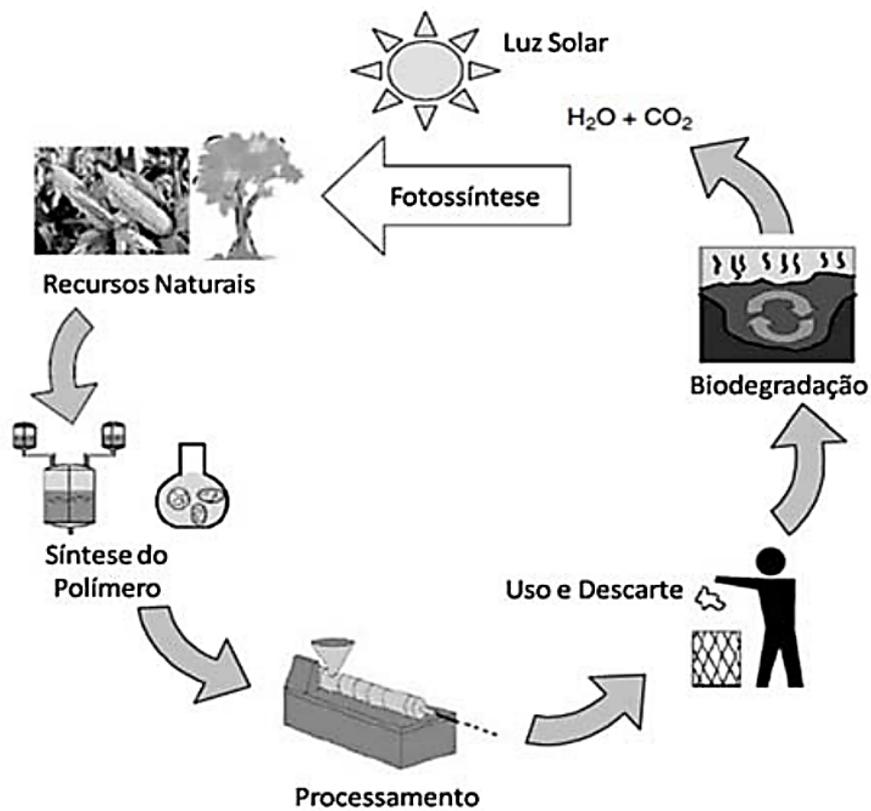
São polímeros produzidos a partir de fontes renováveis e por isso podem ser utilizados como substitutos dos polímeros sintéticos, diminuindo a dependência de derivados do petróleo (BRITO *et al.*, 2011).

Polímeros biodegradáveis são aqueles em que os microrganismos existentes no meio ambiente conseguem fazer a desintegração da matéria em substâncias mais simples em um curto intervalo de tempo. Enquanto a maioria dos polímeros sintéticos, feitos de fontes não renováveis, utilizados no cotidiano demoram milhares de anos para se decompor, sendo sua produção responsável por grandes impactos ambientais, desde a extração até o refino, além de que o petróleo demora milhares de anos para se formar, portanto a escassez do petróleo é um problema que o mundo irá enfrentar (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006).

É possível produzir um polímero biodegradável a partir de fontes não renováveis, como a policaprolactona, porém este não é o melhor método devido aos impactos ambientais gerados dessas fontes. E é possível a produção de um polímero feito a partir de fontes renováveis e que não são biodegradáveis, porém não é a melhor indicação, visto que o planeta está sendo prejudicado com a quantidade de lixo acumulado.

Os polímeros verdes, são aqueles produzidos de fontes renováveis, mas em outro momento eram feitos de fontes não renováveis, como o polietileno verde (PE verde), e podem não propriedades biodegradáveis, permitem um ciclo de vida ideal em questões ambientais e de carbono. As plantas consomem  $CO_2$  para fazer a fotossíntese, posteriormente as fibras dessas plantas serão utilizadas para produzir os polímeros verdes. Após o descarte, ocorre a biodegradação do material e será liberado  $CO_2$  na atmosfera, que eventualmente será absorvido pelas plantas. Este ciclo pode ser visto na Figura 1 (BRITO *et al.*, 2011).

**Figura 1.** Ciclo dos bioplásticos.



Fonte: Brito, 2011.

Com o aumento da consciência ambiental veio a urgência de produzir um biopolímero degradável, a fim de diminuir o lixo e conseqüentemente a poluição ambiental.

Ao utilizar um polímero natural, como o amido, é possível utilizar suas propriedades para a formação de filmes biodegradáveis, visto que a produção dos filmes não afeta as

características biodegradáveis do amido, evitando a produção de mais polímeros provenientes de fontes não renováveis.

### **2.3.COMPÓSITOS**

Os compósitos são materiais feitos a partir de combinações de duas ou mais componentes que retém composições e propriedades diferentes, onde um dos materiais é responsável pela ligação e o outro pelo reforço. A matriz é majoritariamente um polímero orgânico, mantendo a orientação das fibras e os espaçamentos e também protege a fibra de danos superficiais. Os compósitos vieram com a necessidade de um material leve que ainda possuísse resistência (MOREIRA, 2008).

O compósito utilizados como embalagens possuem matrizes termoplásticas, que são materiais que são facilmente remoldados dependendo da temperatura, visto que ao reagir o amido com um plastificante, como água ou glicerol, as cadeias de amilose e amilopectina se orientam de forma intercalada, destruindo a estrutura semicristalina (CORRADINI *et al.*, 2007).

### **2.4.BAGAÇO DE MALTE**

O Brasil é um país onde a quantidade de indústrias cervejeiras aumenta anualmente. É o terceiro maior produtor de cerveja do mundo, com o equivalente a 14,1 bilhões de litros por ano produzidos. O Brasil possui uma grande quantidade de bagaço de malte produzido e sem destinação, isso se dá ao fato de que a cada 100 litros de cerveja produzida é obtido 20 kg de bagaço de malte (EVARISTO, 2018). A legislação brasileira determina que a cerveja é uma bebida alcoólica que em é composta tem como ingredientes obrigatórios o malte de cevada, lúpulo, água e levedura (CERVBRASIL).

A maior parte do bagaço produzido é destinado a alimentação de gado, porém este só é viável num período de até 1 dia após a produção, devido a sua alta umidade levando a proliferação de microorganismos, fazendo necessário encontrar novas rotas para o bagaço produzido. O bagaço é rico em fibras e proteínas, contendo celulose, hemicelulose e lignina, possuindo também proteínas, extrativos e cinzas (VOLYNETS *et al.*). A composição percentual depende dos métodos utilizados para extração, e algumas estão listadas na Tabela 1.

Em polímeros, as fibras celulósicas são utilizadas para dar um maior reforço ao compósito, o interesse na utilização de fibras naturais se dá pelo baixo custo das fibras,

abundância no mercado brasileiro e a rápida degradação por microorganismos (AMARAL, *et al*).

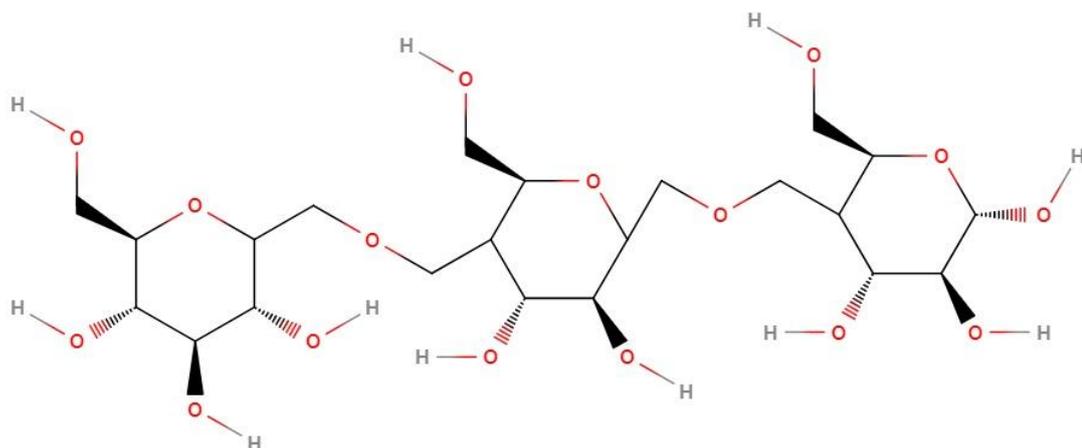
**Tabela 1.** Porcentagem de componentes do bagaço.

Componentes	Maione, 2019 (%)	Massardi, 2020 (%)	Evaristo, 2018 (%)
<b>Lignina</b>	20,332	20,800	34,000
<b>Hemicelulose</b>	20,926	29,920	32,500
<b>Celulose</b>	25,1000	15,990	11,600
<b>Proteínas</b>	27,975	21,160	20,000
<b>Cinzas</b>	3,381	3,760	3,600

Fonte: Autoria própria.

A celulose, representada é um polímero de cadeia longa, sendo constituído por monômeros de glicose, ligados por ligações glicosídicas do tipo  $\beta$  1-4, e é responsável pela rigidez das plantas. A utilização da celulose para a produção de filmes é muito pesquisada em função das propriedades mecânicas e características de permeação. Hemicelulose é um polímero de baixa massa molecular composta por pentoses, por hexoses e por ácidos urônicos, sendo mais susceptível à hidrólise em comparação com a celulose. Já a lignina é uma substância hidrofóbica, com estrutura tridimensional e amorfa, traz rigidez a parede celular (BENJAMIN; EVARISTO, 2018).

**Figura 2.** Estrutura química da celulose.



Fonte: Autoria própria.

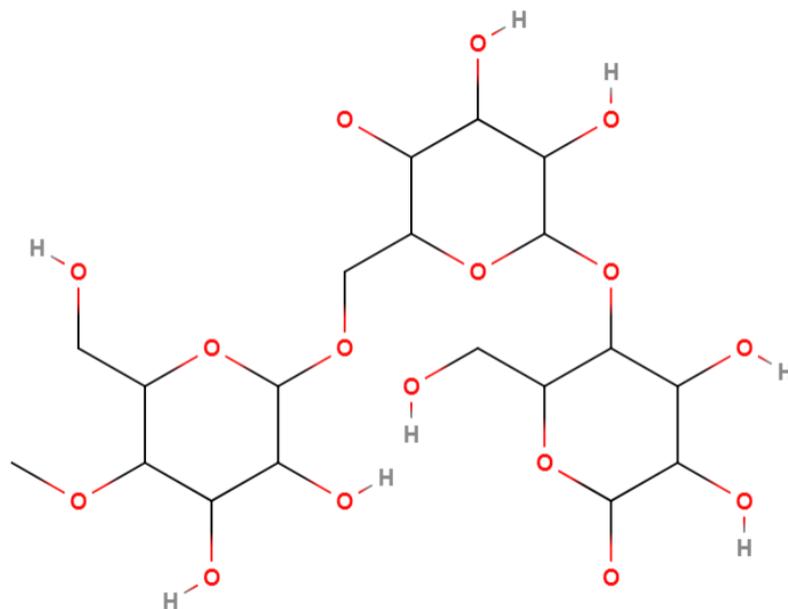
## 2.5.AMIDO

O amido é responsável por ser a reserva energética das plantas e é a principal fonte de carboidratos, eles se encontram nos tecidos com aspecto de grânulos intracelulares. As

principais fontes de amido são o milho, batata, arroz, mandioca e o trigo, essas são abundantes no Brasil. As propriedades do amido variam de acordo com a fonte, modificações químicas, força iônica do meio, pH e composição do sistema (CORRADINI *et al.*, 2007).

O amido é formado por dois polissacarídeos, a amilose e a amilopectina. A amilose é estruturada a partir de ligações  $\alpha$  1-4 D- glicose com conformação helicoidal, enquanto a amilopectina é constituída de ligações do tipo  $\alpha$  1-4 Dglicose e cadeia ligações do tipo  $\alpha$ -1-6 D- glicose, representada na Figura 3, tendo assim aspecto ramificado (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

**Figura 3.** Estrutura química do amido.



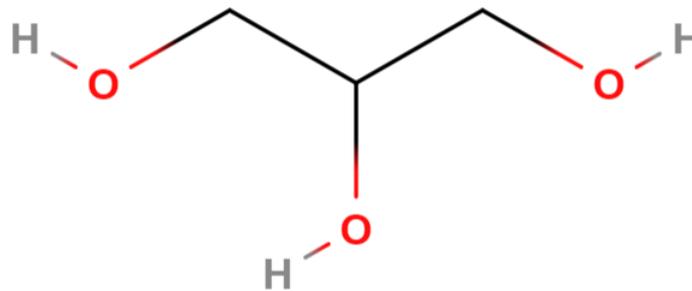
**Fonte:** Autoria própria.

São estudadas as aplicações de filmes à base de amido por possuírem propriedades mecânicas, que facilitam a resistência à tração e alongação de ruptura que são semelhantes a polímeros sintéticos (SUEIRO *et al.*, 2016). Para a produção dos filmes são colocados alguns aditivos para facilitar a produção do filme como compostos hidrofílicos (glicerol, sorbitol e polietileno glicol), são utilizados como plastificantes, melhorando a flexibilidade, manuseabilidade e processabilidade. Ao reagir o amido com plastificantes, há a recristalização da amilopectina e a cristalização da amilose, afetando as propriedades do amido, tornando-o menos rígido e menos quebradiço (CORRADINI *et al.*, 2007).

## 2.6. GLICEROL

O glicerol, representado na Figura 4, é um álcool que possui três grupos hidroxila, amplamente empregado na indústria alimentícia, cosmética e petroquímica. É um produto que possui grande versatilidade visto que as reações com o glicerol são capazes de produzir diversos produtos utilizados na indústria.

**Figura 4.** Estrutura química do glicerol.



Fonte: Autoria própria.

Atualmente o mercado possui uma grande quantidade de glicerol sem destinação, o que se dá ao fato de que o glicerol é um subproduto do processo de transesterificação de óleos e gorduras na produção do biodiesel e para utilizar esse glicerol é necessário etapas de purificação. Com o aumento das políticas de incentivo ao uso do biodiesel, é crescente a quantidade de glicerol no mercado e por isso novos usos para este produto são sempre buscados (PEITER, 2016).

Em contato com polímeros naturais, como o amido, o glicerol funciona como plastificante possibilitando a formação do filme. O glicerol é adicionado para reduzir a temperatura de fusão do amido (CORRADINI *et al.*, 2007). Com a utilização do glicerol para produzir os compósitos, este possui seu próprio ciclo da economia circular, dado que como subproduto da produção de biodiesel, o glicerol é considerado como rejeito, porém ao utilizá-lo como plastificante, há o aumento do valor agregado do glicerol retornando-o a economia diminuindo a quantidade de glicerol sem destinação.

## 2.7. FILMES BIODEGRADÁVEIS DE AMIDO

Ao reagir o amido com o glicerol, há a quebra da estrutura semicristalina do amido, fazendo com que as ligações das cadeiras de amilose e amilopectina estejam intercaladas. Portanto não há formação de outro produto ao misturar o amido e glicerol, há a diminuição da temperatura de fusão do amido e o aumento de sua flexibilidade. O amido é utilizado para fazer

filmes por causa da sua abundância e pela facilidade de produção de um filme (CORRADINI *et al.*, 2007).

Santos (2020) propôs um biopolímero utilizando óleo de erva-doce como aditivo. Os polímeros foram feitos utilizando o método de *casting*, com a solubilização do amido em solventes e a utilização de agentes plastificantes. Comprovou-se que ao utilizar óleos essenciais foi formado um filme mais quebradiço, causado pela presença de compostos aromáticos e fenólicos, com a adição do óleo essencial houve a diminuição da umidade do filme, mostrando as características hidrofóbicas dos óleos. Os filmes formados apresentaram elevada solubilidade, o que é compatível com a finalidade de embalagens comestíveis. O teste de biodegradabilidade mostrou que os polímeros produzidos são completamente degradados no período de 67 dias.

Com o trabalho de Dias *et al.* (2019) foi possível ver as características de um filme produzido a partir de fécula de mandioca e bagaço de cana-de-açúcar. Observou-se que ao adicionar fortificantes há a diminuição da densidade dos compósitos e determinou que um filme com 5% de aditivo é mais adequado para a finalidade, que é de envelopes para mudas, por serem mais espessos, com menor densidade e uma perda de água adequada.

Campagner *et al.* (2014) produziu um filme que tem como materiais o amido e lignossulfonatos. Percebeu-se que ao adicionar uma concentração menor de glicerol, havia a formação de filmes quebradiços e rígidos. Ao adicionar lignossulfonatos aos filmes houve uma diminuição da resistência a tração e nos filmes de lignossulfonatos houve a biodegradação de maneira mais efetiva.

Amaral *et al.* (2010) produziu um compósito utilizando bagaço de cevada onde foram realizados ensaios de tensão, opacidade e ângulos de contato. Observou-se que ao colocar até 20 % de cevada nos filmes há aumento na tensão, há aumento na opacidade dos filmes e com a adição de bagaço há diminuição do ângulo de contato o que demonstra o aumento da hidrofiliabilidade.

## **2.8.ECONOMIA CIRCULAR**

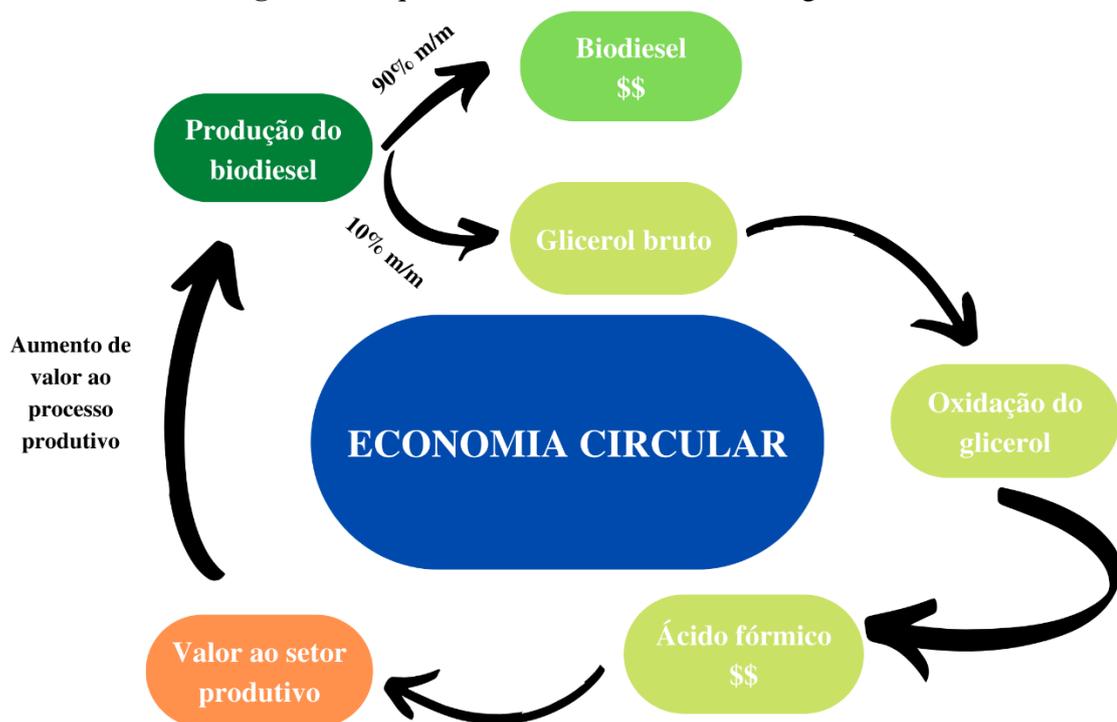
A economia circular visa o reaproveitamento e tratamento de materiais que podem ser considerados como rejeito, agregando valor ao mesmo transformando-o em um material que pode ser utilizado para outros fins (SEHNEM; FARIAS, 2019).

A economia mais utilizada no momento é a economia linear, que visa a transformação da matéria-prima, venda do produto, utilização e posteriormente o descarte. Esse modelo

econômico não leva em consideração o aumento do desperdício, poluição e consumo enfreado de matérias-primas. Ao utilizar um produto que seria descartado, há a diminuição do consumo de matérias-primas e reduz a poluição, seguindo a tendência mundial de sustentabilidade (SEHNEM; FARIAS, 2019).

Um exemplo conhecido de economia circular é o reaproveitamento de glicerol oriundo da produção do biodiesel. Por haver um grande interesse na utilização do biodiesel ao invés do diesel, há cada vez mais o aumento da produção do biodiesel, que por sua vez leva a um aumento de glicerol sem destinação. Existem muitas rotas para o glicerol que podem ser utilizadas para novos produtos, como a de oxidação do glicerol é possível produzir ácido fórmico, produto de grande valor agregado que não é produzido no Brasil, sendo necessário exportá-lo da China (ANGELO *et al.*, 2018). A representação desta economia circular pode ser visualizada na Figura 5.

**Figura 5.** Esquema de economia circular do glicerol.



Fonte: Autoria própria.

## 2.9. BIORREFINARIA

A refinaria é o local onde são refinadas substâncias a fim de se obter uma mais pura, sendo a refinaria de petróleo uma das mais conhecidas. Enquanto na biorrefinaria ocorre a conversão de biomassa, resíduo renovável proveniente da matéria orgânica, em insumos químicos e outros materiais, buscando o melhor aproveitamento da biomassa. Existe a

possibilidade de utilização de resíduos, diminuindo o descarte, e aumentando o lucro e os benefícios, visto que há a troca de um material por outro que a indústria já produz e pode ser reutilizado, diminuindo os gastos (SALES *et al.*, 2015).

Os resíduos agroindustriais vêm sendo muito pesquisados visto seu caráter renovável e biodegradável. Por ser um país com uma grande quantidade de agroindústrias, o Brasil produz diariamente uma grande quantidade de resíduos, há o reaproveitamento em termoelétricas e para a alimentação do gado, porém o que é produzido na indústria ainda não consegue ser totalmente reaproveitado.

O bagaço oriundo da produção de cerveja pode ser utilizado como aditivos na produção de biofilmes, promovendo maior resistência mecânica dos filmes.

Massardi (2020) propôs a caracterização do bagaço de malte para a utilização em produtos que necessitam de um alto teor de fibras lignocelulósicas, como a produção de etanol de segunda geração, produtos de nutrição humana, entre outros (Massardi *et al.*, 2020).

Este trabalho tem como o intuito a reutilização do glicerol e do bagaço de malte, rejeito da indústria cervejeira, para produzir uma um bioplástico biodegradável que poderá ser utilizado como embalagem na indústria cervejeira.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1.MATERIAIS**

##### **3.1.1. REAGENTES**

- ✓ Ácido acético ( $CH_3COOH$ ), marca *Sigma Aldrich*;
- ✓ Água destilada;
- ✓ Amido solúvel, marca *Dinâmica*;
- ✓ Clorito de sódio ( $NaClO_2$ ) 80 %, marca *Acros*;
- ✓ Etanol, marca *Dinâmica*;
- ✓ Glicerol, marca *Merck*;
- ✓ Hidróxido de potássio ( $KOH$ ) 85 %, marca *Sigma Aldrich*;
- ✓ Metanol, marca *Dinâmica*.

### 3.1.2. EQUIPAMENTOS

- ✓ Agitador magnético, marca *IKA* modelo C-MAG HS7;
- ✓ Banho maria, marca *Fisotom*;
- ✓ Calorimetria exploratória diferencial *SHIMADZU* de modelo DSC-60;
- ✓ Espectrofotômetro de infravermelho com Transformada de *Fourier Spectrum Two* da *PerkinElmer*;
- ✓ Estufa, marca *Olidef* modelo CZ;
- ✓ Microscópio, marca *Digilab* laboratório, modelo 163046-DI-6.1;
- ✓ Moedor de disco, marca *Arbel*;
- ✓ Peneira granulométrica, marca *Cole-Parmer*;
- ✓ Termogravimétrico *SHIMADZU* de modelo DTG-60.

### 3.2.MÉTODOS

#### 3.2.1. SECAGEM

Foi feita a secagem do bagaço em uma estufa *Olidef CZ* por 48 horas a 100 °C para a retirada da umidade do bagaço.

#### 3.2.2. MOAGEM

A moagem é feita a fim de reduzir os grãos a um tamanho menor para facilitar a homogeneidade dos filmes. Foi utilizado um moedor de disco da marca *Arbel*.

#### 3.2.3. GRANULOMETRIA

O bagaço foi peneirado em uma peneira de 710 nm a fim de que fosse utilizado os grãos mais finos do bagaço, retirando grãos que podem ter passado no processo de moagem.

#### 3.2.4. OBTENÇÃO DA HOLOCELULOSE

Esta etapa foi realizada a fim de separar a lignina do restante do bagaço, restando somente a holocelulose. A metodologia utilizada foi a de Browing (1963), onde 6 g do bagaço foi reagido com a solução de clorito de sódio 30 % e ácido acético (1:5 v/v) em banho maria,

após o tempo reacional a mistura foi filtrada em um funil de *Buchner*. O material foi colocado na estufa.

### 3.2.5. OBTENÇÃO DA CELULOSE

Esta etapa visa a separação da hemicelulose da celulose, restando apenas a celulose. A metodologia utilizada foi a de Kennedy (1987), onde é acrescentado a holocelulose em solução de hidróxido de sódio 24 %. Posteriormente, essa solução é filtrada e lavada com ácido acético 1 %, água e etanol. O sólido restante é levado para a estufa por 24 h.

### 3.2.6. SÍNTESE DO BIOPOLÍMERO

Para realizar a síntese do biopolímero, foi utilizada a metodologia aplicada por Dias *et al.* (2019) com algumas modificações, utilizada para produzir um filme biodegradável com bagaço de cana.

Foram preparados diferentes biopolímeros com concentrações variadas de amido, glicerol e bagaço de malte a fim de encontrar a melhor combinação, foi utilizado um glicerol padrão para testar a compatibilidade do glicerol com o filme.

As variáveis selecionadas foram a razão mássica de glicerol e percentual de bagaço. Usando parâmetros da literatura foi escolhida uma melhor concentração de glicerol na composição dos filmes. Entretanto, a quantidade de aditivos, bagaço, foi determinada em uma faixa de 5 %, selecionadas as margens de variação, foi selecionada uma metodologia de planejamento composto central com replicatas no ponto central sendo essas as amostras 9 a 13.

O planejamento composto central foi modelado utilizando o programa de computador *statistica 12* na função *design of experiment* (DOE). Os dados encontrados estão na Tabela 2.

**Tabela 2.** Quantidade de massa de amido, glicerol e bagaço de malte utilizados para produzir o biopolímero.

Amostras	Amido (g)	Glicerol (g)	Razão mássica de glicerol	Bagaço de malte (g)
1	0,595	0,105	0,175	0,035
2	0,595	0,105	0,175	0,070
3	0,420	0,280	0,467	0,035
4	0,420	0,280	0,467	0,049
5	0,643	0,058	0,096	0,049
6	0,384	0,316	0,527	0,049
7	0,508	0,193	0,321	0,024
8	0,508	0,193	0,321	0,074
9	0,508	0,193	0,321	0,049
10	0,508	0,193	0,321	0,049

<b>11</b>	0,508	0,193	0,321	0,049
<b>12</b>	0,508	0,193	0,321	0,049
<b>13</b>	0,508	0,193	0,321	0,049

**Fonte:** Autoria própria.

Foram feitos dois ensaios a parte, um utilizando somente amido e o outro utilizando somente amido e glicerol a fim de comparação. As quantidades estão descritas na Tabela 3.

**Tabela 3.** Quantidade de amido e glicerol utilizados nos filmes feitos para comparação.

<b>Amostras</b>	<b>Amido (g)</b>	<b>Glicerol (g)</b>	<b>Razão mássica de glicerol</b>	<b>Bagaço de malte (g)</b>
<b>1</b>	1	0	0	0
<b>2</b>	0,725	0,275	0,275	0

**Fonte:** Autoria própria

O biopolímero foi feito utilizando as massas descritas na Tabela 2, colocando-as em um béquer de 50 mL e aquecendo a 80 °C por 1 h e 20 min sob agitação constante no agitador magnético. Após o tempo de preparo, a solução foi colocada em uma forma de silicone por 48 h para que houvesse a formação do filme. Foram realizados biopolímeros utilizando o bagaço sem tratamento, a holocelulose e a celulose para que fosse determinado o biopolímero com melhores características buscadas e mais homogêneo.

### **3.3. TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO**

#### **3.3.1. UMIDADE DOS FILMES**

Para calcular a umidade dos filmes, as amostras foram previamente pesadas e colocadas em uma estufa a 105 °C por 24 h e após o tempo os filmes foram pesados de novo.

#### **3.3.2. SOLUBILIDADES**

A solubilidade dos filmes foi calculada após a secagem na estufa a 105 °C por 24 h e pesados em balança analítica para determinar o peso inicial. As amostras foram colocadas em *Erlenmeyer* com 50 mL de água destilada a temperatura ambiente por 24 h sob agitação constante. Após o período determinado, as soluções foram filtradas e colocadas novamente na estufa por 24 h e foi feita a pesagem da massa seca para determinação da porcentagem de solubilidade.

### 3.3.3. CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)

A análise foi feita utilizando um equipamento da marca *SHIMADZU* de modelo DSC-60, a medida foi realizada utilizando temperatura inicial de -50 °C até 150 °C, com taxa de 1 °C/min, em uma atmosfera de nitrogênio.

### 3.3.4. TERMOGRAVIMETRIA (DTG)

A análise de DTG foi realizada utilizando um termogravimétrico da marca *SHIMADZU* de modelo DTG-60, em uma atmosfera de nitrogênio com fluxo de 50 mL por minuto a uma temperatura inicial de 36 °C a 800 °C.

### 3.3.5. INFRAVERMELHO (IV)

Os espectros foram obtidos a partir do espectrofotômetro de infravermelho com Transformada de *Fourier Spectrum Two* da *PerkinElmer*, com taxa de 4000 a 400  $cm^{-1}$  de comprimento de onda, em ATR.

### 3.3.6. BIODEGRABILIDADE

Os compósitos foram colocados em uma bandeja com terra e regado com água a cada 48 h, durante 30 dias e todo o progresso foi registrado por meio de fotos, utilizando a metodologia de Dias *et al.* (2019). Os ensaios foram realizados em triplicata.

### 3.3.7. MICROSCOPIA ÓPTICA

Foi utilizado um Microscópio Óptico da marca *Digilab* laboratório, modelo 163046-DI-6.1. Os compósitos foram vistos no microscópio a fim de determinar a homogeneidade dos filmes em relação a porcentagem de bagaço utilizada.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. GERAIS

O objetivo desse trabalho é a produção de biopolímeros biodegradáveis, preparados a partir de materiais de fontes renováveis e resíduos agroindustriais (amido, bagaço de malte e glicerol), utilizando como aditivo estrutural o bagaço de malte produzido pelo setor cervejeiro.

## 4.2.ESPECÍFICOS

- ✓ Caracterizar e separar os componentes do bagaço de malte utilizando as metodologias de Browning e Kennedy;
- ✓ Preparar em diferentes proporções os polímeros utilizando amido, glicerol e bagaço de malte usando a metodologia de Dias *et al* (2019). para a produção dos filmes;
- ✓ Caracterizar os filmes pelas técnicas de IV, TG/DTG, DSC, biodegradabilidade, umidade e solubilidade;
- ✓ Propor uma rota de economia circular para os resíduos agroindustriais (da indústria da cerveja e do biodiesel).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1.TRATAMENTO DO BAGAÇO

Na obtenção da holocelulose foi encontrada a média da porcentagem de lignina da amostra que foi igual a 50,07 %, com desvio padrão de 4,98 %. A partir da porcentagem de celulose encontrada da amostra, que foi de 13,92 %, a porcentagem de hemicelulose na amostra é 35,31 %.

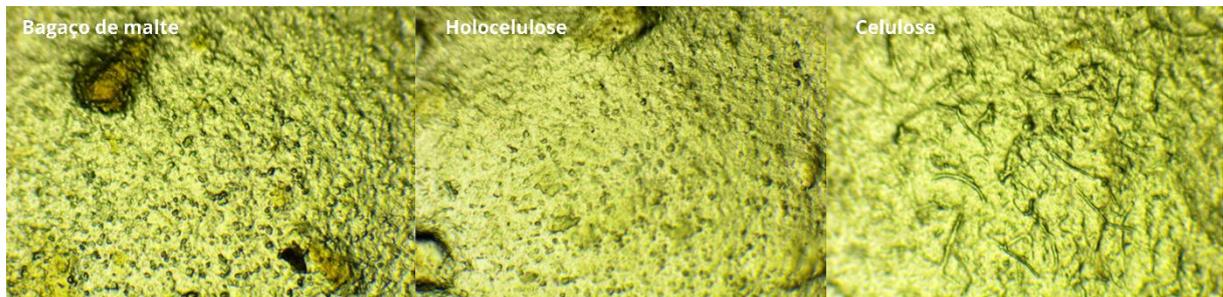
Utilizando como base os autores mencionados na Tabela 1, a porcentagem de cada componente encontrado na primeira parte do estudo está mais próxima das quantidades propostas por Evaristo, 2018, se diferindo da quantidade encontrada de lignina, isso se dá ao fato de que nesse trabalho não foi realizado os estudos de porcentagem de proteínas e cinzas.

### 5.2.OBTENÇÃO DO BIOPOLÍMERO

O primeiro teste feito utilizou somente o amido com água, devido a falta do glicerol não houve a plastificação do amido e por isso não formou um filme. O segundo filme feito utilizou o amido e o glicerol sem a celulose como aditivo, o que formou um filme muito maleável, porém não muito resistente.

Ao realizar a produção do biopolímero com o bagaço sem tratamento, com a celulose e a holocelulose verificou-se que o biopolímero que mais se encaixou nas características encontradas foi o biopolímero de celulose, visto que este formou um material uniforme, homogêneo e não granuloso, foi possível identificar as fibras no filme de celulose. Nos filmes de bagaço e holocelulose é possível ver as proteínas, conforme a Figura 6.

**Figura 6.** Filmes utilizando bagaço de malte, holocelulose e celulose vistos no microscópio.



Fonte: Autoria própria.

### 5.3. CARACTERIZAÇÃO DO POLÍMERO

#### 5.3.1. UMIDADE DOS FILMES

Ao realizar o ensaio da umidade foi encontrado os dados apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Porcentagem de umidade dos filmes feitos com celulose.

<b>Amostra</b>	<b>Massa inicial (g)</b>	<b>Massa final (g)</b>	<b>Porcentagem da umidade (%)</b>
<b>1</b>	0,031	0,027	12,9
<b>2</b>	0,032	0,030	6,2
<b>3</b>	0,031	0,026	16,1
<b>4</b>	0,030	0,025	16,7
<b>5</b>	0,031	0,029	6,4
<b>6</b>	0,033	0,027	18,2
<b>7</b>	0,033	0,030	9,1
<b>8</b>	0,031	0,027	12,9
<b>9</b>	0,030	0,028	6,7
<b>10</b>	0,030	0,028	6,7
<b>11</b>	0,030	0,028	6,7
<b>12</b>	0,031	0,029	6,4
<b>13</b>	0,033	0,030	9,1

Fonte: Autoria própria.

A amostra com menor porcentagem de umidade foi a amostra 2 com 6,250 %, enquanto a amostra com maior porcentagem de umidade foi a amostra 6 com 18,182 %, eles possuem diferentes quantidades de razão mássica de glicerol e amido, mas é importante perceber que a amostra com maior porcentagem de umidade é a que possui maior razão mássica de glicerol, independente da interferência da celulose.

Para visualizar como a adição da celulose interfere na umidade utiliza-se como exemplo as amostras 1 e 2 porque estas detêm a mesma quantidade de razão mássica de glicerol (0,175).

A amostra 2 dispõe de uma quantidade maior de aditivo (0,070 g) que a amostra 1 (0,035 g), e esta tem uma porcentagem menor de umidade comparada a amostra 2.

Para visualizar como a razão mássica do glicerol influencia na umidade utilizou-se como exemplo as amostras 5 e 6, que possuem a mesma quantidade de aditivo (0,049 g) e diferentes razões mássicas de glicerol. A amostra 6 possui a maior quantidade de razão mássica (0,527) entre as 13 amostras e consequentemente possui a maior umidade, isso se dá ao fato de que o glicerol possui 3 grupos hidroxila, facilitando as interações de hidrogênio entre os componentes e a água, que por sua vez eleva o teor de umidade no filme.

Para ser utilizado como embalagem é importante que estes filmes tenham a menor porcentagem de umidade possível, visto que isso demonstra uma maior resistência ao ser molhado o que não afetaria caso essa embalagem fosse utilizada em produtos que podem apresentar um teor de umidade maior.

### 5.3.2. SOLUBILIDADE

Ao realizar o ensaio de solubilidade foi encontrado os dados apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5.** Porcentagem da solubilidade dos filmes de celulose.

<b>Amostra</b>	<b>Massa inicial (g)</b>	<b>Massa final (g)</b>	<b>Porcentagem da solubilidade (%)</b>
<b>1</b>	0,023	0,018	21,7
<b>2</b>	0,023	0,020	13,0
<b>3</b>	0,023	0,010	56,5
<b>4</b>	0,024	0,015	37,5
<b>5</b>	0,023	0,013	43,5
<b>6</b>	0,024	0,011	54,2
<b>7</b>	0,024	0,019	20,8
<b>8</b>	0,024	0,018	25,0
<b>9</b>	0,024	0,021	12,5
<b>10</b>	0,023	0,020	13,0
<b>11</b>	0,024	0,020	16,7
<b>12</b>	0,023	0,018	21,7
<b>13</b>	0,024	0,018	25,0

**Fonte:** Autoria própria.

A amostra com menor porcentagem de solubilidade foi a amostra 9 com 12,5 %, enquanto a amostra com maior porcentagem de solubilidade foi a amostra 3 com 56,5 %. Eles possuem diferentes quantidades de razão mássica e quantidades de celulose, porém é importante perceber que a amostra com maior porcentagem de solubilidade é a que possui maior razão mássica de glicerol.

Ao comparar as amostras 1 e 2, que possuem a mesma razão mássica de glicerol (0,175) e concentrações diferentes de celulose, é possível perceber que a amostra mais solúvel é a amostra 1 que possui menor concentração de aditivo (0,035), isso é explicado pelo fato de que a celulose é menos solúvel em água.

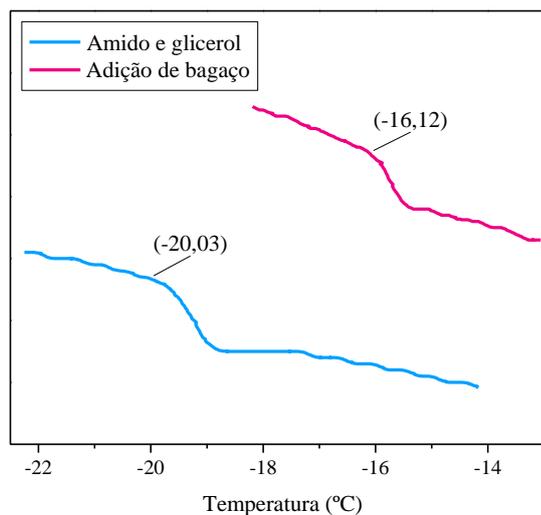
Ao comparar as amostras 1 e 3 que possuem a mesma concentração de celulose e razões mássicas de glicerol diferentes, é possível perceber que a amostra mais solúvel é a amostra 3 que possui maior razão mássica de glicerol (0,467), pelo fato de que as hidroxilas presentes no glicerol facilitam a interação com a água, tornando-a mais solúvel.

Para a utilização em embalagens, um filme menos solúvel é mais adequado, para evitar a degradação das embalagens quando utilizadas em produtos que podem conter água ou evitar a degradação das embalagens ao serem estocadas em um ambiente não adequado, enquanto para outros fins como sacolas plásticas e canudos, que são plásticos que não necessitam de uma vida útil maior e possuem uma alta taxa de descarte incorreto, embalagens mais solúveis podem ser aconselháveis.

### 5.3.3. CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)

Foi feita a Figura 7 mostrando a transição vítrea da amostra de amido e glicerol e da amostra 8, amostra com maior porcentagem de celulose, para realizar a comparação entre os dois.

**Figura 7.** DSC da amostra de amido e glicerol e da amostra 8.



**Fonte:** Autoria própria.

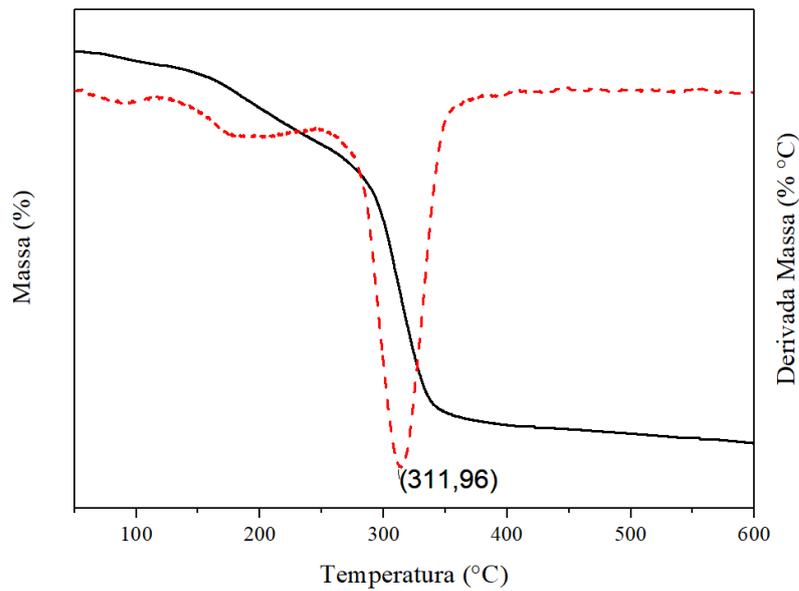
Ao realizar a análise, foi encontrada a temperatura de transição vítrea do amido com glicerol com o valor médio de -20,03 °C e a amostra 8 com valor médio de -16,12 °C.

Com isso, verificou-se um aumento de 4 °C na temperatura média, mostrando que ao adicionar a celulose ao filme ocorreu o aumento da rigidez, caracterizando um comportamento “reticulante”.

#### 5.3.4. TERMOGRAVIMETRIA (DTG)

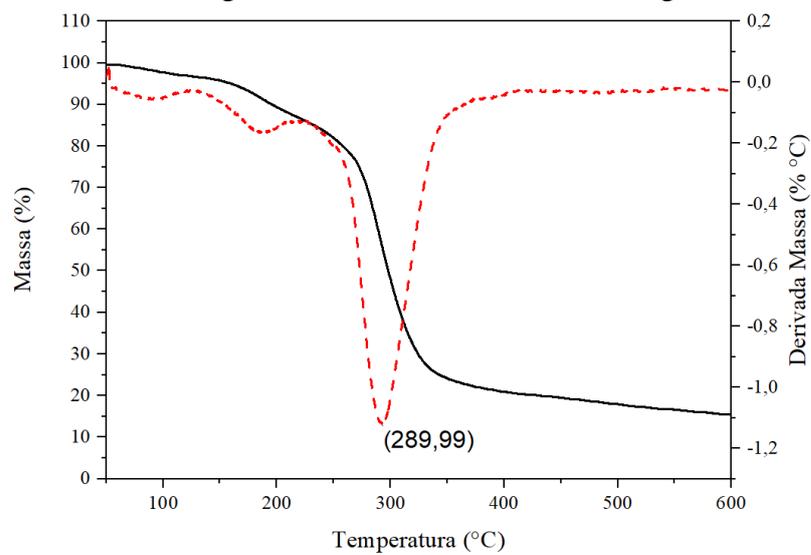
Foi feito os TGs das amostras contendo bagaço, holocelulose e celulose para comparação, Figuras 8, 9 e 10.

**Figura 8.** Gráfico de termogravimetria da amostra de amido, glicerol e bagaço.



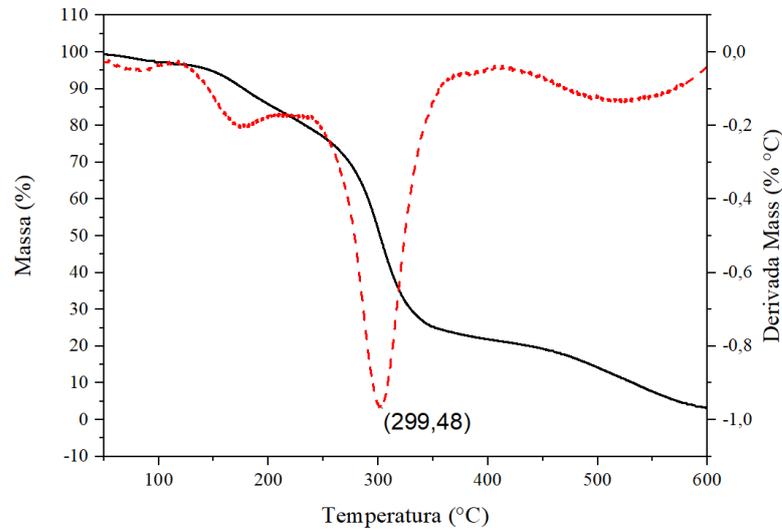
Fonte: Autoria própria

**Figura 9.** Gráfico de termogravimetria da amostra de amido, glicerol e holocelulose.



Fonte: Autoria própria

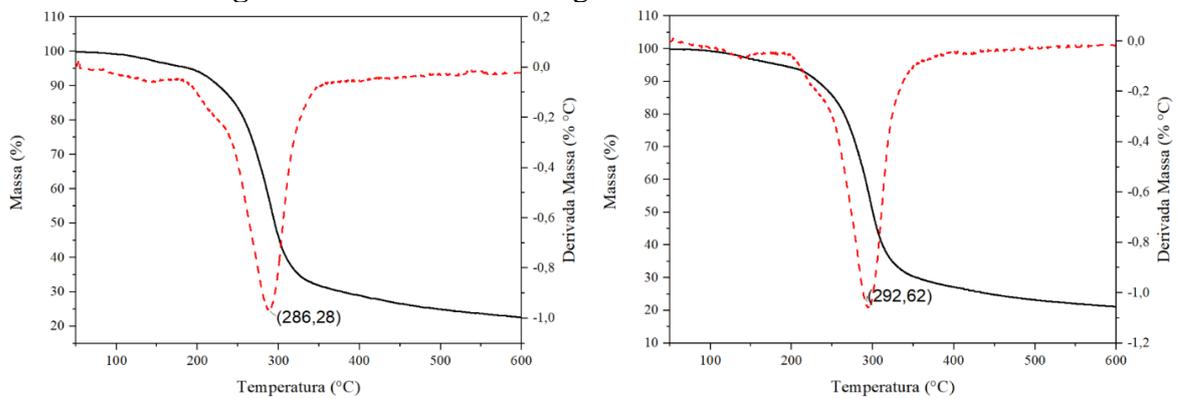
**Figura 10.** Gráfico de termogravimetria da amostra de amido, glicerol e celulose.



**Fonte:** Autoria própria

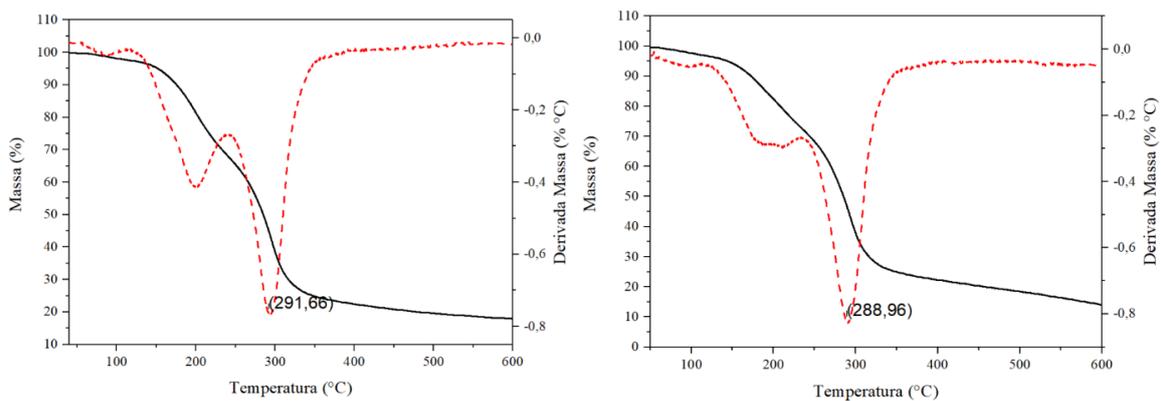
Os TGs demonstraram que a uma temperatura próxima a de 300°C há uma queda considerável na massa dos filmes. Posteriormente, foi feito o TG das amostras de amido, glicerol e celulose presentes no estudo, Figuras 11-15.

**Figura 11.** Gráfico de termogravimetria das amostras 1 e 2.



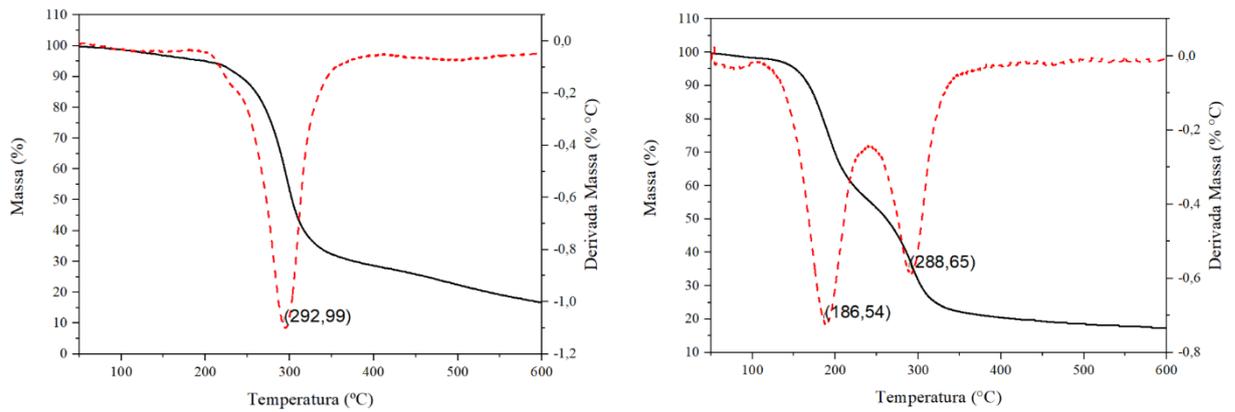
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 12.** Gráfico de termogravimetria das amostras 3 e 4.



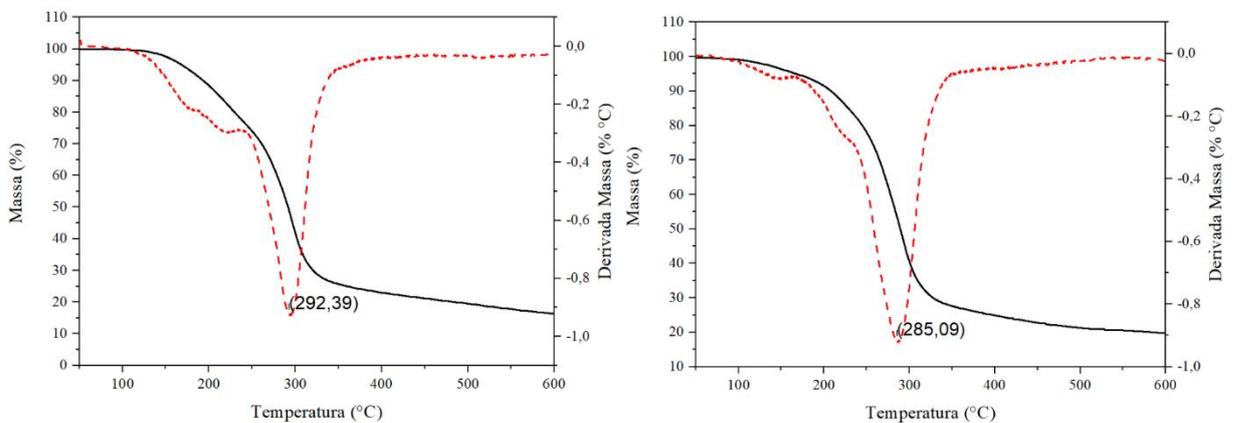
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 13.** Gráfico de termogravimetria das amostras 5 e 6.



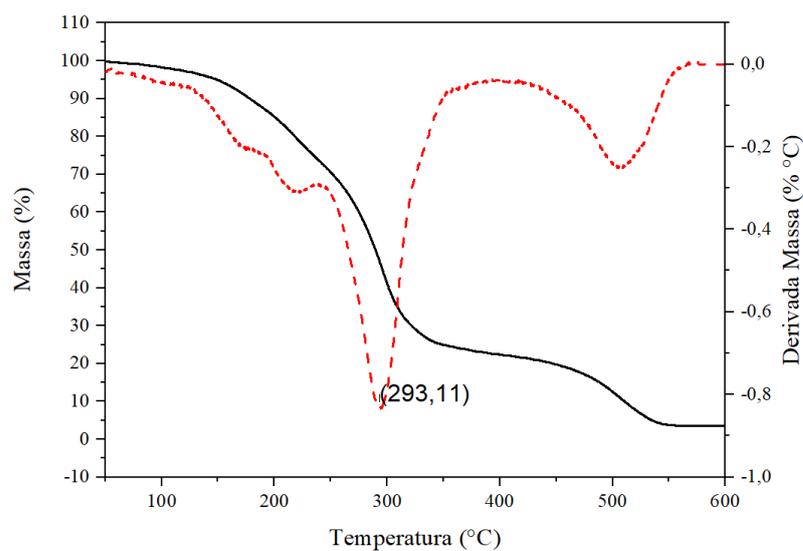
Fonte: Autoria própria

**Figura 14.** Gráfico de termogravimetria das amostras 7 e 8.



Fonte: Autoria própria

**Figura 15.** Gráfico de termogravimetria da amostra 13.



Fonte: Autoria própria

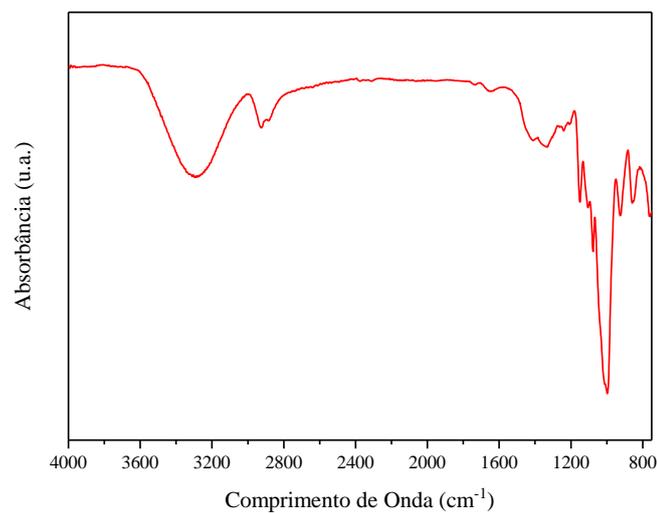
Não foi realizado o TG das amostras 9,10, 11 e 12 por se tratar de replicatas de concentrações iguais a amostra 13. Os gráficos demonstram que até 300 °C os filmes

apresentaram uma perda de mais da metade de sua massa. Ao comparar as amostras 5 e 6, com mesma porcentagem de aditivo, nota-se que a amostra com maior quantidade de glicerol (6) começa a perder massa em uma temperatura menor que a amostra com menor quantidade de glicerol (5), isso se dá pelo fato de que por possuir maior razão mássica de glicerol, há a maior interação com a água deixando o filme mais úmido e esta umidade é perdida mais rapidamente. Não foi possível perceber diferença significativa entre os gráficos que possuem mesma razão mássica de glicerol e diferentes concentrações de celulose.

### 5.3.5. INFRAVERMELHO (IV)

O primeiro espectro gerado foi o da amostra contendo amido e glicerol, que se encontra na Figuras 16.

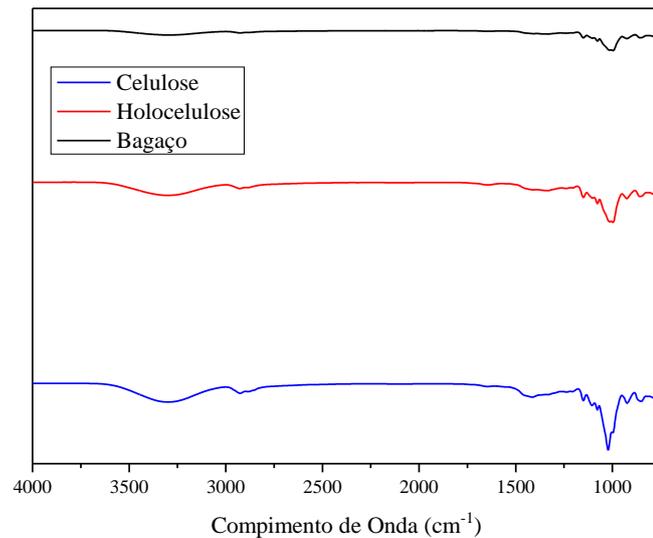
**Figura 16.** Espectro de IV da amostra de amido e glicerol.



**Fonte:** Autoria própria.

Posteriormente foi realizado o IV das amostras de bagaço, holocelulose e celulose para comparação, Figura 17.

**Figura 17.** Espectro de IV da amostra com aditivo de bagaço, holocelulose e celulose.

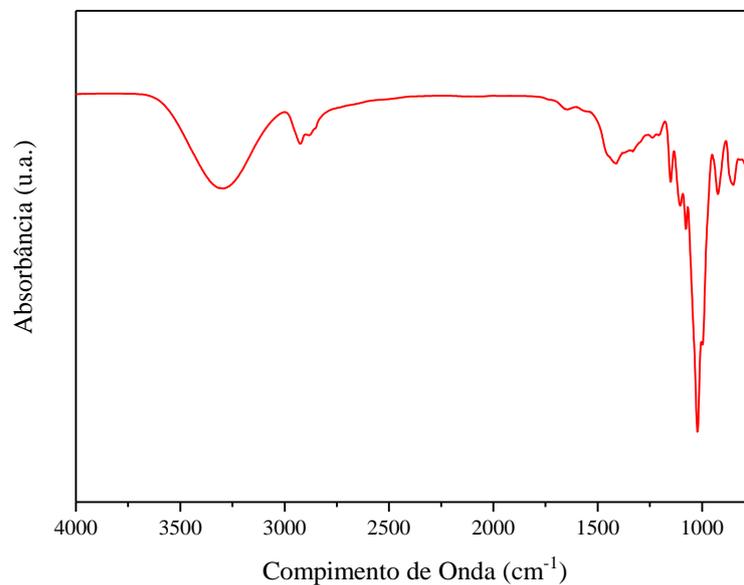


**Fonte:** Autoria própria.

Pelo espectro de IV, representado na Figura 17, onde estão comparados os filmes de bagaço, holocelulose e celulose, não foi possível identificar diferenças nos grupos funcionais encontrados visto que os três componentes possuem os mesmos grupos funcionais.

Por fim, foi realizado o IV do teste 6, onde foi encontrado a Figura 18.

**Figura 18.** Espectro de IV da amostra 6.



**Fonte:** Autoria própria.

Em todos os espectros foram observadas as mesmas bandas identificadas, sendo essas as bandas que estão entre 3500 – 3000  $\text{cm}^{-1}$ , 1500 – 1250  $\text{cm}^{-1}$  e 1250 – 1000  $\text{cm}^{-1}$ , são, respectivamente as ligações de estiramento de O – H, estiramento de C – C e estiramento assimétrico de C – O, ligações que estão presentes em todos os compostos.

Algumas amostras não puderam ser analisadas por apresentarem características demasiadamente rígidas para análise com células de atr ou demasiadamente maleáveis para maceração e análise com pastilhas de *KBr*.

### 5.3.6. BIODEGRADABILIDADE

As fotos tiradas nos filmes se encontram na Figura 19, sendo a foto (a) 0 dias, (b) 3 dias, (c) 5 dias, (d) 7 dias, (e) 10 dias, (f) 12 dias, (g) 14 dias, (h) 17 dias, (i) 19 dias, (j) 21 dias, (k) 24 dias, (l) 26 dias, (m) 28 dias, (n) 31 dias.

**Figura 19.** Teste de biodegradabilidade dos filmes nos dias 0, 3 e 5 de experimento.



Fonte: Autoria própria.

**Figura 20.** Teste de biodegradabilidade dos filmes nos dias 7, 10 e 12 de experimento.



Fonte: Autoria própria.

**Figura 21.** Teste de biodegradabilidade dos filmes nos dias 14, 17 e 19 de experimento.



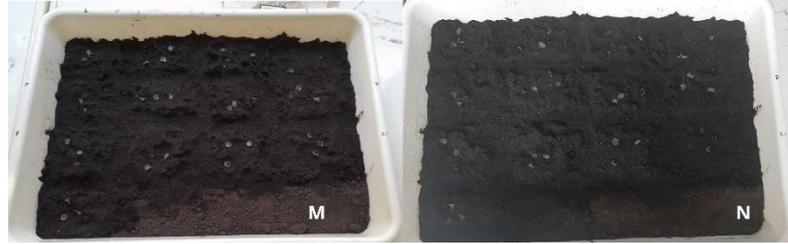
Fonte: Autoria própria.

**Figura 22.** Teste de biodegradabilidade dos filmes nos dias 21, 24 e 26 de experimento.



Fonte: Autoria própria.

**Figura 23.** Teste de biodegradabilidade dos filmes nos dias 28 e 31 de experimento.



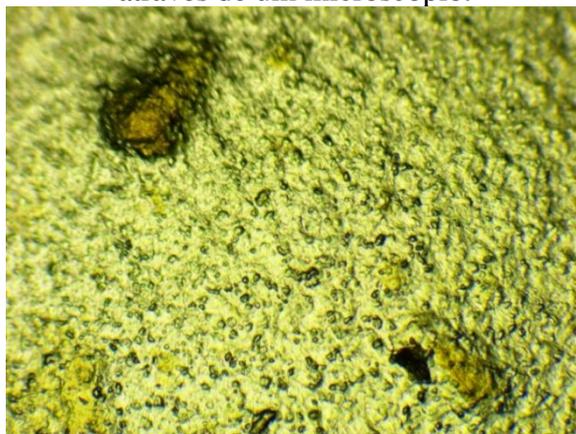
Fonte: Autoria própria.

Ao realizar o teste durante o período de trinta dias e registrar a mudança a cada 48h, observou-se que os filmes que perderam mais massa foram os compostos mais maleáveis, ou seja, os filmes que possuíam maior razão mássica de glicerol. Os filmes não perderam massa significativa na largura, a massa foi perdida na espessura dos filmes, superfície que estava em contato com a terra, o que facilitou a desintegração dos filmes.

### 5.3.7. MICROSCOPIA ÓPTICA

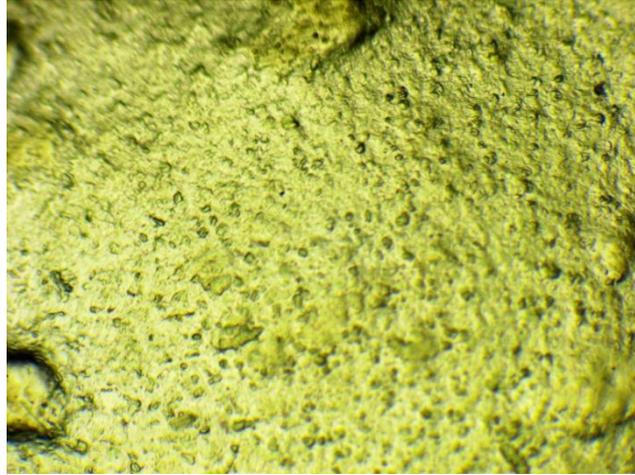
Ao visualizar as Figuras 24, 25 e 26 pode-se distinguir que as amostras de bagaço e holocelulose são menos homogêneas que a amostra de celulose. É visível pontos onde o bagaço se encontra nas Figuras 24 e 25, por isso estas possuem um aspecto mais rugoso, enquanto a amostra de celulose possui um aspecto mais liso, homogêneo, sem muitas interferências.

**Figura 24.** Biopolímero utilizando amido, glicerol e bagaço sem tratamento observado através de um microscópio.



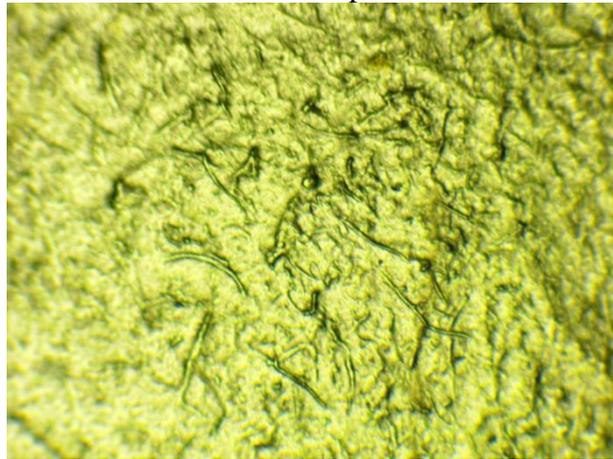
Fonte: Autoria própria.

**Figura 25.** biopolímero utilizando amido, glicerol e holocelulose observado através de um microscópio.



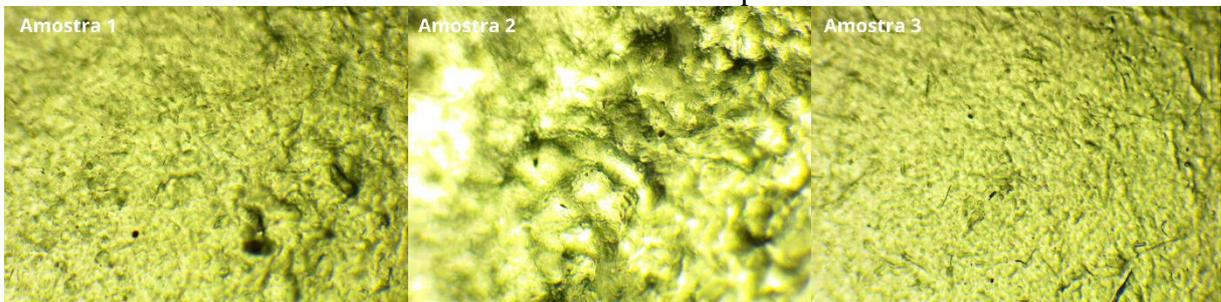
**Fonte:** Autoria própria.

**Figura 26.** biopolímero utilizando amido, glicerol e celulose observado através de um microscópio.



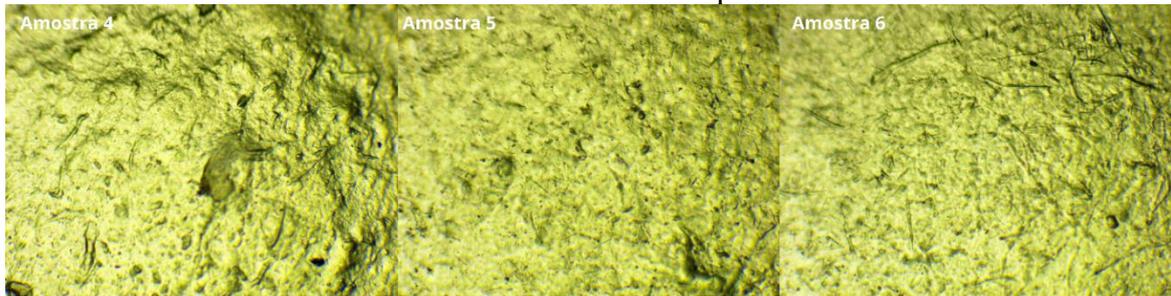
**Fonte:** Autoria própria.

**Figura 27.** Amostra 1, 2 e 3 de biopolímeros utilizando amido, glicerol e celulose observado através de um microscópio.



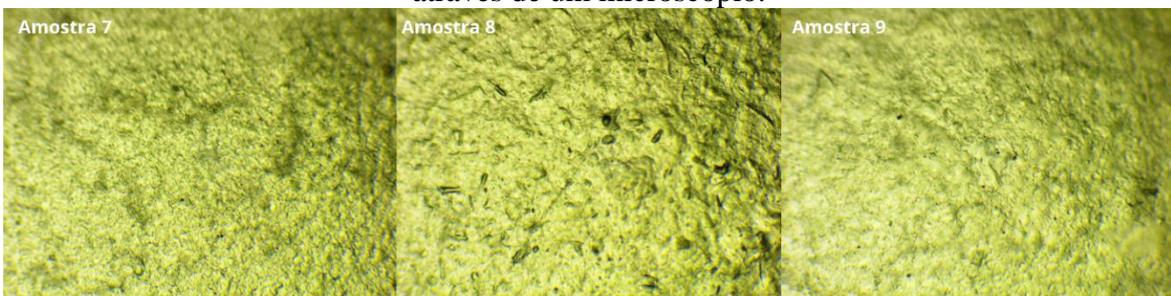
**Fonte:** Autoria própria.

**Figura 28.** Amostra 4, 5 e 6 de biopolímeros utilizando amido, glicerol e celulose observado através de um microscópio.



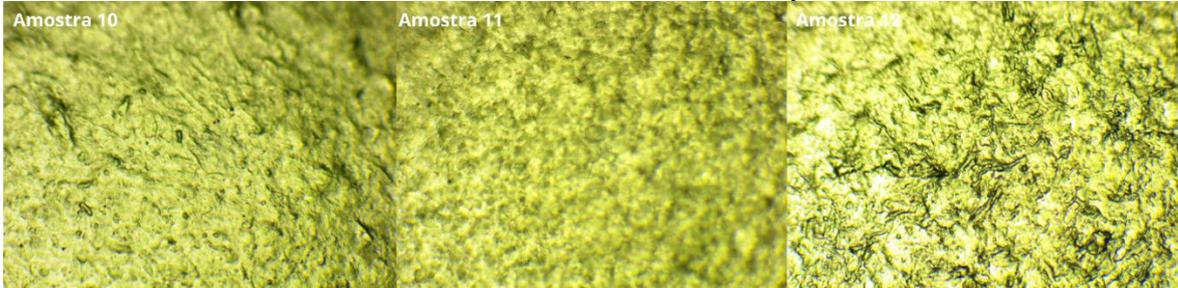
Fonte: Autoria própria.

**Figura 29.** Amostra 7, 8 e 9 de biopolímeros utilizando amido, glicerol e celulose observado através de um microscópio.



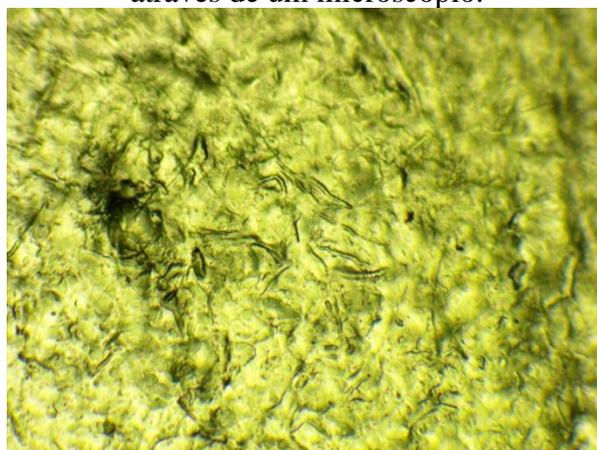
Fonte: Autoria própria.

**Figura 30.** Amostra 10, 11 e 12 de biopolímeros utilizando amido, glicerol e celulose observado através de um microscópio.



Fonte: Autoria própria.

**Figura 31.** Amostra 13 do biopolímero utilizando amido, glicerol e celulose observado através de um microscópio.



Fonte: Autoria própria.

Pelo microscópio percebe-se que existem alguns pontos que não são homogêneos, principalmente na amostra 5 visto que essa possui menor razão mássica de glicerol e uma quantidade relativamente alta de bagaço. Ao compará-la com a amostra 4, por possuírem a mesma quantidade de bagaço, visualiza-se que a amostra com superfície menos rugosa é a amostra 4. A amostra 5 foi uma das com menor porcentagem de umidade (6,450%), enquanto a amostra 4 teve uma porcentagem de umidade alta (16,670%).

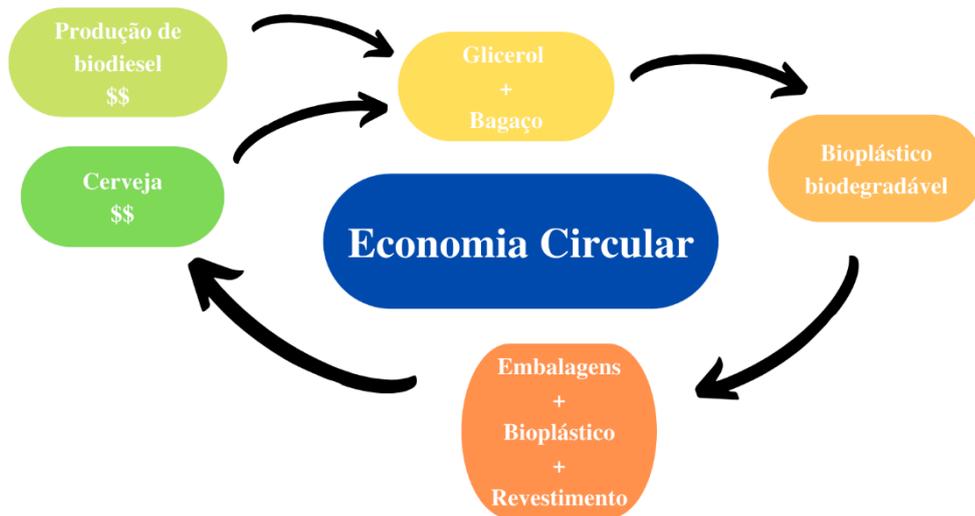
Ao comparar as amostras 3 e 4, que possuem mesma quantidade de razão mássica de glicerol, observou-se que a amostra 4 tem uma superfície menos lisa, com aspecto mais rugoso por possuir maior concentração de bagaço. As amostras 3 e 4 têm porcentagens de umidade parecidas, isso se dá pela razão mássica igual.

O filme mais quebradiço produzido foi a amostra 5 já que estas detêm menor porcentagem de glicerol e uma quantidade relativamente alta de aditivo. Enquanto o filme mais maleável produzido é a amostra 6, com maior razão mássica de glicerol. Os filmes mais rígidos podem ser utilizados como plásticos de engradados em cervejarias, por necessitar de um componente mais resistente, enquanto os plásticos mais maleáveis podem ser utilizados como embalagens de pack de cerveja de latinha, por não necessitar de tanta resistência.

### **5.3.8. ECONOMIA CIRCULAR**

Com a capacidade de produzir esse filme, é possível realizar uma rota de economia circular, como a representada na Figura 32. Com a utilização do glicerol proveniente da produção do biodiesel, há a diminuição de glicerol sem destino no mercado, agregando valor a este produto, sendo este uma maneira de diminuir o passivo ambiental com a quantidade de resíduos agroindustriais produzidos, visto que no caso do bagaço de malte, ele ainda não possui muitas aplicações na indústria sendo mais utilizado para alimentação de gado ou descartado em aterros sanitários. Com esses resíduos forma-se um bioplástico biodegradável que pode ser utilizado como embalagens tanto na indústria cervejeira como na indústria de produção de biocombustíveis.

**Figura 32.** Esquema de economia circular.



Fonte: Autoria própria.

## 6. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

Foi possível perceber que a adição do glicerol é fundamental para a formação do filme, visto que sem o glicerol não houve a plastificação do amido e percebeu-se o impacto que a adição do bagaço tem nos filmes, formando um filme mais rígido e com menos umidade, sendo assim mais duradouro e resistente. A diferença da rigidez foi identificada pela análise de DSC presentes na Figura 7, que demonstra que com o aditivo houve um aumento na temperatura média de transição vítrea.

Com o bagaço sem tratamento, holocelulose e celulose houve a formação de um filme com uma maior resistência do que o filme feito sem nenhum aditivo, como foi visto no DSC, porém eles se diferem pela homogeneidade visível e tátil. No filme com o bagaço e a holocelulose, foi possível visualizar onde o aditivo estava no filme o tornando heterogêneo. A escolha do aditivo depende da finalidade dele, se não é necessário a homogeneidade do filme, pode ser utilizado o bagaço sem tratamento, porém se há a necessidade da homogeneidade, o melhor aditivo para utilizar é a celulose, por não ficar aparente no filme. Alguns ensaios ainda precisam ser realizados a fim de avaliar se esses pontos heterogêneos nos filmes podem causar pontos de ruptura. O estudo identificou como o bagaço e a razão mássica de glicerol podem alterar a umidade e solubilidade dos filmes. Quando o filme possui maior razão mássica de glicerol, há maior umidade e solubilidade dos filmes, e quando há maior concentração de celulose o filme possui menor umidade e solubilidade.

Para considerações finais, em futuros trabalhos seria interessante encontrar uma técnica de caracterização que permita a medida quantitativa dos grupos funcionais existentes, já que com o IV só foi possível a medida qualitativa, onde não houve diferenciação dos espectros formados. Os testes de biodegradabilidade de outros trabalhos foram feitos com observação de 60 dias, seria interessante fazer um teste com tempo maior de 30 dias. Além disso, é recomendado que ensaios mecânicos sejam realizados nos biopolímeros a fim de propor melhores rotas de aproveitamento dos biomateriais preparados. Se amostra interessante a realização de biopolímeros utilizando glicerol bruto, proveniente da indústria do biodiesel, para compará-los mostrando que é possível a realização destes com o resíduo da indústria de biodiesel.

Os filmes produzidos são bastante promissores como substitutos de polímeros sintéticos e com eles foi possível encontrar uma rota de economia circular, capaz de agregar valor ao glicerol e ao bagaço de malte.

## 7. REFERÊNCIAS

- AMARAL; D. P.; ASCHERI; D. P. R.; CARVALHO; C. W. P.; ASCHERI; J. R. L.; TAKEITI; C.Y. Desenvolvimento de compósitos biodegradáveis a partir de bagaço de cevada da agroindústria cervejeira. **Embrapa Instrumentação agropecuária**, [s. l.], v. 3, p. 28–31, 2010.
- ANGELO, S. *et al.* Techno-Economic Analysis of a Glycerol Biorefinery. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, [s. l.], v. 6, p. 16563–16572, 2018.
- BRASIL. Congresso Nacional. Projeto de Lei do Senado N° 243 de 2017. Alteração da Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/130192>.
- BRASIL. Congresso Nacional. Projeto de Lei do Senado N° 344 de 2021. Disponível em: [https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop\\_mostrarintegra?codteor=1962083&filename=Tramitacao-PL+344/2021](https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1962083&filename=Tramitacao-PL+344/2021).
- BRITO, G. F. *et al.* Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 127–139, 2011.
- BROWNING, B. L. *The Chemistry of Wood*. [s. l.], 1963.
- CAMPAGNER, A. M. R. *et al.* A Filmes Poliméricos Baseados em Amido e Lignossulfonatos : Preparação , Propriedades e Avaliação A da Biodegradação. [s. l.], v. 24, p. 740–751, 2014.
- CANEVAROLO JR., S. **Ciência dos polímeros**. [S. l.: s. n.], 2002.
- CORDEIRO, L.; EL-AOUAR, Â.; GUSMÃO, R. CARACTERIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE ORIUNDO DE CERVEJARIAS. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 20–22, 2012.

CORRADINI, E. *et al.* Amido Termoplástico. **Documentos** 30, [s. l.], p. 27, 2007. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/30796/1/DOC302007.pdf>.

DIAS, A. *et al.* **Produção de filme biodegradável a partir da fécula de mandioca com bagaço de cana-de-açúcar como fortificante.** 2019. [s. l.], 2019.

EVARISTO, R.; Dr<sup>a</sup> Grace Ferreira Ghesti Co-orientador: Prof. Dr. Julio Lemos de Macedo Brasília, DF 2018. [s. l.], 2018.

FERREIRA, P. G.; DA SILVA, F. C.; FERREIRA, V. F. A Importância da Química para a Economia Circular. **Revista Virtual da Química**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 452–473, 2017.

FERREIRA, L.; MONARO, D.; PLENS, A. A importância da economia circular para produtos feitos à base de polímero: uma análise de conteúdo. **Brazilian Journals of Business**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 33–48, 2021.

FOSTER, A.; ROBERTO, S.; IGARI, A. ECONOMIA CIRCULAR E RESÍDUOS SÓLIDOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE A EFICIÊNCIA AMBIENTAL E ECONÔMICA. **Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente**, [s. l.], 2016.

FRANCHETTI, S.; MARCONATO, J. Polímeros biodegradáveis - uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Química Nova**, [s. l.], v. 29, 2006.

JONES, F. A promessa dos Bioplásticos. **Pesquisa Fapesp**, [s. l.], p. 73–77, 2020.

KENNEDY, J. F.; PHILLIPS, G. O.; WILLIAMS, P. A. Wood and cellulose: industrial utilizations, biotechnology, structure and properties. [s. l.], 1987.

KOTIK, H. Fibras naturais e compósitos reforçados com fibras naturais: a motivação para sua pesquisa e desenvolvimento. **Matéria**, [s. l.], v. 24, 2019.

LEMO, A.; MARTINS, R. Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos à base de poli(ácido láctico) e fibras naturais. **Seção Técnica**, [s. l.], v. 2, 2014.

LIMBERGER, S. O SETOR CERVEJEIRO NO BRASIL: GÊNESE E EVOLUÇÃO. **Cadernos do núcleo de análises urbanas**, [s. l.], v. 6, n. 1, 2014.

MAIONE, N.R. Pré-tratamento hidrotérmico do bagaço de malte (BSG) visando a produção de etanol de segunda geração, Tese (Mestrado), Instituto de Química, UFG, 2019.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 31, n. 1, p. 137, 2010.

MARINELLI, A.; MONTEIRO, M.; AMBRÓSIO, J. Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: Uma Contribuição para a Sustentabilidade Amazônica. **Polímeros: Ciência e tecnologia**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 92–99, 2008.

MARTINS, M. F. S. Poluição por plástico - A crise ambiental e as políticas europeias e nacionais. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], 2020.

MASSARDI, M. M.; MASSINI, R. M. M.; SILVA, D. J. Caracterização química do bagaço de malte e avaliação do seu potencial para obtenção de produtos de valor agregado. **The journal of Engineering and exact sciences**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 83–91,

MORAES, J. PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES DE AMIDO-GLICEROL-FIBRAS DE CELULOSE ELABORADOS POR TAPE-CASTING. [s. l.], 2013.

MOREIRA, T.; SEO, E. Obtenção e caracterização de polímero reforçado com fibras da folha de milho. **Matéria**, [s. l.], v. 21, 2016.

PEITER, G. *et al.* **Alternativas para o uso do glicerol produzido a partir do biodiesel**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, UFPR, v.5, n.4, p.519-537, 2016.

RESTA, V.; RESTA, V. Efeito da sacarose e glicerol como plastificantes em filmes orodispersíveis de amido e gelatina. **Cesumar**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 15–25, 2019.

ROCHA, G.; BALKZÓ, N.; MULINARI, D. Obtenção e Caracterização da Celulose do Bagaço de Cana-de-Açúcar Pré-Tratado em Meio Ácido. **Caderno UniFOA**, [s. l.], 2012.

RODRIGUES, J.; SOUZA, J.; FUJIYAMA, R. Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais da Amazônia fabricados por infusão. **Matéria**, [s. l.], v. 20, 2015.

SALES, G. *et al.* PRODUTOS BIOREFINERIES : CONCEPTS , CLASSIFICATION , RAW MATERIALS AND PRODUCTS Revisão bibliográfica. [s. l.], n. June 2016, 2015.

SANCHEZ, E. *et al.* Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana-de-açúcar: influência do tratamento das fibras nas propriedades. **Seção Técnica**, [s. l.], v. 3, 2010.

SANTOS, B. **Biodegradabilidade de filmes baseados em biopolímero e óleo essencial de erva-doce**. 2020. [s. l.], 2020.

SEHNEM, S.; FARIAS, C. Rumo à Economia Circular : Sinergia Existente entre as Definições Conceituais Correlatas e Apropriação para a Literatura Brasileira. [s. l.], p. 35–62, 2019.

SUEIRO, A. C. *et al.* Filmes biodegradáveis de amido de mandioca, pululana e celulose bacteriana. **Química Nova**, [s. l.], v. 39, n. 9, p. 1059–1064, 2016.

VOLYNETS, B.; EIN-MOZAFFARI, F.; DAHMAN, Y. Green Processing and Synthesis 2017, 6, 1.