

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

JONAS CARDOSO DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL DE EMBALAGEM A PARTIR DE  
RESÍDUO CERVEJEIRO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FRANCISCO BELTRÃO

2021

**JONAS CARDOSO DE OLIVEIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL DE EMBALAGEM A PARTIR DE  
RESÍDUO CERVEJEIRO**

**Development of packaging material from beer residue**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Vânia de Cassia da Fonseca Burgardt

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Ellen Porto Pinto

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Maria Helene Giovanetti Canteri

**FRANCISCO BELTRÃO**

2021

**JONAS CARDOSO DE OLIVEIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL DE EMBALAGEM A PARTIR DE RESÍDUO  
CERVEJEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia de Alimentos da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR).

Data de aprovação: 17/agosto/2021

---

Alexandre da Trindade Alfaro  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Wagner da Silveira  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Vânia de Cássia da Fonseca Burgardt  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2021**

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.”

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus e ao meu guerreiro por toda a luz fornecida durante essa trajetória, fazendo com que eu observasse a realidade com uma nova perspectiva. Por ter me dado perseverança para enfrentar os desafios encontrados. Por me fazer discernir quais caminhos seguir.

Agradeço à minha família pelo apoio, que mesmo a distância esteve sempre ao meu lado. À minha mãe Teresinha, pelas palavras de conforto e todo o amor. Aos meus irmãos Mayara e João Henrique por me mostrarem que a união é um elo inquebrável, e que podemos sempre contar com o outro. Ao meu pai Adilson, pelo auxílio e proteção. Ao meu padrinho Hermínio, em que não terei mais a oportunidade de sentir os seus abraços e sorrisos pela conquista.

Aos meus amigos e amigas, Amanda, Beatriz, Bruna, Elis, Ellen, Fabiane, Felipe, Felipe G., Gabriela, Gustavo, Jean, João, Lucas, Michele e Thayná por estarem ao meu lado me apoiando, me aconselhando, orientando e distraindo os meus pensamentos. Por cada sorriso, abraço, comemoração, momento, festa e passeio, pois cada um foi único. À minha amiga Thayná e sua mãe Joice, por terem me acolhido como um membro da família, não deixando eu me sentir desamparado em algum momento.

À minha orientadora, Vânia por ter aceito embarcar comigo nesse projeto, por toda a paciência e todos os ensinamentos que foram essenciais. Às minhas coorientadoras, Ellen e Maria Helene por suas contribuições, disponibilidade e simpatia. Aos professores Alexandre, Naimara e Wagner pela colaboração com o trabalho. Agradeço também aos demais mestres e doutores que contribuíram para a minha formação. Por cada lição dada, dedicação e preparo para a vida.

O meu muito obrigado a todos que contribuíram de alguma forma por essa conquista!

## RESUMO

OLIVEIRA, Jonas C. **Desenvolvimento de material de embalagem a partir de resíduo cervejeiro**. 2021. 70 f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2021

Decorrente o avanço científico e tecnológico, indústrias de embalagens que utilizam como matéria-prima, papéis, jornais, revistas e rascunhos, devem se atentar às novas fontes celulósicas para fabricação de seus produtos. A utilização de recursos naturais renováveis vem como uma alternativa para este impasse, a fim de desenvolver tecnologias e produtos que possuem capacidade de degradação elevada sem gerar resíduos tóxicos. A utilização de resíduos agroindustriais gera um grande interesse para obtenção de blendas poliméricas reforçadas, por geralmente apresentar fonte de fibras e celulose. O bagaço de malte de cevada é um subproduto da indústria cervejeira, gerado em grandes quantidades, e uma forma de diminuir o impacto deste ao meio ambiente é reutilizando-o para a produção de materiais de embalagem. Dessa forma, o estudo teve como objetivo a caracterização do bagaço de malte e o desenvolvimento de material de embalagem a partir do resíduo cervejeiro. Foi analisada a composição centesimal do bagaço de malte, teor de celulose, condições de extração de celulose e elaboradas blendas poliméricas reforçadas com bagaço de malte de cevada e adição de amido, glicerol, levedura residual da indústria cervejeira e glutaraldeído em diferentes proporções de acordo com o delineamento fatorial fracionado proposto. O material de embalagem foi submetido a análises de resistência mecânica, térmica, densidade, absorção de água e umidade. Foram realizadas análises de variância, qui-quadrado, coeficiente de regressão linear e gerados gráficos de superfície de resposta. Decorrente o estudo, o subproduto da indústria cervejeira utilizado apresentou uma maior proporção de fibras e proteínas de 39,70 e 24,83%, respectivamente e um teor de celulose de 9,60%, sendo que este último se elevou para 26,34% após processo de deslignificação. Assim, foi utilizado o bagaço de malte deslignificado (BMD) para a produção de blendas poliméricas reforçadas que apresentaram resultados de resistência a tração com variação de 0,0002 a 0,0065 N.mm<sup>-2</sup>, deformação de 0,0058 a 0,0345, densidade de 174,09 a 360,44 kg.m<sup>-3</sup>, umidade de 16,24 a 98,71%, condutividade térmica de 0,0033 a 0,0559 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>, e absorção em água de 159,72 a 385,26%. Considerando o exposto, foi visto que com o resíduo agroindustrial bagaço de malte, foi possível produzir blendas poliméricas reforçadas, e dos aditivos adicionados, somente o glutaraldeído não apresentou um comportamento significativo positivo para os resultados. O material de embalagem produzido se mostrou capaz de ser um isolante térmico, por possuir uma baixa condutividade térmica com variância de 0,0033 a 0,0559 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>. Ainda, tomando como base a resistência a tração (RT) e umidade os ensaios 11 e 13 apresentaram melhores resultados. Tais ensaios, obtiveram valores de RT de 0,0112 N.mm<sup>-2</sup> e 0,0052 N.mm<sup>-2</sup> e umidade de 18,18 % e 16,24%. Tais ensaios produziram materiais de embalagem com densidade de 238,95 kg.m<sup>-3</sup> e 174,09 kg.m<sup>-3</sup>, condutividade térmica de 0,0479 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> e 0,0494 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>, absorção em água de 317,74% e 346,31% e deformação de 0,0102 e 0,0183.

**Palavras-chave:** Blendas poliméricas. Celulose. Material de embalagem. Resíduos agroindustriais. Bagaço de malte.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Jonas C. **Development of packaging material from beer residue**. 2021. 70 f. Course Conclusion Paper (Graduation in Food Engineering). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2021

Due to the scientific and technological advances, packaging industries that use paper, newspapers, magazines and drafts as raw material, must pay attention to new cellulosic sources for the manufacture of their products. The use of renewable natural resources comes as an alternative to this impasse, in order to develop technologies and products that have high degradation capacity without generating toxic residues. The use of agroindustrial residues generates a great interest for obtaining reinforced polymer blends, because they generally present a source of fiber and cellulose. Brewers' spent grain is a by-product of the brewing industry, generated in large quantities, and one way to reduce its impact on the environment is to reuse it for the production of packaging materials. Thus, the study aimed at characterizing the brewers' spent grain and developing packaging material from the beer residue. The centesimal composition of brewers' spent grain, cellulose content, cellulose extraction conditions were analyzed and polymeric blends reinforced with brewers' spent grain and addition of starch, glycerol, residual yeast from the brewing industry and glutaraldehyde in different proportions were elaborated according to the proposed fractional factorial design. The packaging material was submitted to analyses of mechanical and thermal resistance, density, water absorption and moisture. The variance, chi-square and linear regression coefficient analyses were performed, and response surface graphs were generated. As a result of the study, the by-product of the brewing industry used showed a higher proportion of fiber and protein of 39.70 and 24.83%, respectively, and a cellulose content of 9.60%, the latter increased to 26.34% after the delignification process. Thus, the delignified brewers' spent grain was used for the production of reinforced polymer blends that presented results of tensile strength ranging from 0.0002 to 0.0065 N.mm<sup>-2</sup>, strain from 0.0058 to 0.0345, density from 174.09 to 360.44 kg.m<sup>-3</sup>, moisture from 16.24 to 98.71%, thermal conductivity from 0.0033 to 0.0559 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>, and water absorption from 159.72 to 385.26%. Considering the above, it was seen that with the agroindustrial residue brewers' spent grain, it was possible to produce reinforced polymer blends, and of the additives added, only glutaraldehyde did not show a significant positive behavior for the results. The packaging material produced proved to be capable of being a thermal insulator, for having a low thermal conductivity with variance from 0.0033 to 0.0559 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>. Still, based on the tensile strength and moisture, tests 11 and 13 showed better results. These tests obtained values of RT of 0.0112 N.mm<sup>-2</sup> and 0.0052 N.mm<sup>-2</sup> and moisture of 18.18% and 16.24%. These tests produced packaging materials with densities of 238.95 kg.m<sup>-3</sup> and 174.09 kg.m<sup>-3</sup>, thermal conductivity of 0.0479 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> and 0.0494 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>, water absorption of 317.74% and 346.31% and deformation of 0.0102 and 0.0183.

**Keywords:** Polymeric blends. Cellulose. Packaging material. Waste agroindustrials. Brewers' spent grain.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Processo de fabricação da cerveja. ....	15
<b>Figura 2:</b> Processo de produção de embalagens de polpa moldada.....	18
<b>Figura 3:</b> Estrutura molecular da celulose. ....	18
<b>Figura 4:</b> Representação do grânulo de amido em múltiplas escalas. ....	21
<b>Figura 5:</b> Estrutura da amilose e amilopectina. ....	21
<b>Figura 6:</b> Fluxograma de obtenção das blendas poliméricas. ....	32
<b>Figura 7:</b> Ensaio de propriedades mecânicas em texturômetro.....	33
<b>Figura 8:</b> Ensaio de condutividade térmica em mufla.....	35
<b>Figura 9:</b> Ensaio de absorção em água.....	36
<b>Figura 10:</b> Bagaço de malte antes e após tratamento alcalino.....	38
<b>Figura 11:</b> Blendas poliméricas com reforço de celulose produzidas. ....	39
<b>Figura 12:</b> Gráfico de superfície de resposta dos efeitos do Glicerol e BMD na resistência à tração nos materiais de embalagem. ....	43
<b>Figura 13:</b> Gráficos de superfície de resposta do efeito do glicerol na densidade dos materiais de embalagem. ....	48
<b>Figura 14:</b> Gráficos de superfície de resposta dos efeitos do amido, BMD, glutaraldeído e levedura na densidade dos materiais de embalagem.....	49
<b>Figura 15:</b> Gráficos de superfície de resposta do efeito da interação do BMD com levedura, glutaraldeído e glicerol na condutividade térmica dos materiais de embalagem.....	54
<b>Figura 16:</b> Gráficos de superfície de resposta do efeito da interação do amido com glicerol e levedura na condutividade térmica dos materiais de embalagem.....	55

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Delineamento experimental fatorial fracionado $2^{5-1}$ . .....	31
<b>Tabela 2:</b> Composição centesimal do bagaço de malte em base seca. ....	37
<b>Tabela 3:</b> Rendimento dos tratamentos de deslignificação, hidrólise ácida e branqueamento ao bagaço de malte. ....	38
<b>Tabela 4:</b> Teor de celulose do bagaço de malte in natura e após tratamento de deslignificação. ....	38
<b>Tabela 5:</b> Resultados de umidade, densidade, condutividade térmica, capacidade de absorção em água, resistência a tração e deformação dos materiais de embalagem em diferentes concentrações de BMD, amido, levedura, glicerol e glutaraldeído. ....	40
<b>Tabela 6:</b> Estimativas dos efeitos das variáveis, suas interações e significância ( $p \leq 0,05$ ) para a resistência a tração dos materiais de embalagem. ....	41
<b>Tabela 7:</b> Valores gerados através da análise de variância (ANOVA) para resistência a tração. ....	42
<b>Tabela 8:</b> Equação do modelo de regressão, coeficiente de correlação ( $R^2$ ), qui-quadrado ( $X^2$ ), graus de liberdade (G.L) para resistência a tração. ....	44
<b>Tabela 9:</b> Estimativas dos efeitos das variáveis, suas interações e significância ( $p \leq 0,05$ ) para a deformação dos materiais de embalagem. ....	44
<b>Tabela 10:</b> Valores gerados através da análise de variância (ANOVA) para deformação. ....	45
<b>Tabela 11:</b> Estimativas dos efeitos das variáveis, suas interações e significância ( $p \leq 0,05$ ) para a densidade dos materiais de embalagem. ....	46
<b>Tabela 12:</b> Valores gerados através da análise de variância (ANOVA) para densidade. ....	46
<b>Tabela 13:</b> Equação do modelo de regressão, coeficiente de correlação ( $R^2$ ), qui-quadrado ( $X^2$ ), graus de liberdade (G.L) para densidade. ....	50
<b>Tabela 14:</b> Estimativas dos efeitos das variáveis, suas interações e significância ( $p \leq 0,05$ ) para a umidade dos materiais de embalagem. ....	50
<b>Tabela 15:</b> Valores gerados através da análise de variância (ANOVA) para umidade. ....	51
<b>Tabela 16:</b> Estimativas dos efeitos das variáveis, suas interações e significância ( $p \leq 0,05$ ) para a condutividade térmica dos materiais de embalagem. ....	52



<b>Tabela 17:</b> Valores gerados através da análise de variância (ANOVA) para condutividade térmica. ....	52
<b>Tabela 18:</b> Equação do modelo de regressão, coeficiente de correlação ( $R^2$ ), qui-quadrado ( $X^2$ ), graus de liberdade (G.L) para condutividade térmica. ....	56
<b>Tabela 19:</b> Estimativas dos efeitos das variáveis, suas interações e significância ( $p \leq 0,05$ ) para a absorção em água dos materiais de embalagem. ....	56
<b>Tabela 20:</b> Valores gerados através da análise de variância (ANOVA) para absorção em água. ....	57

## LISTA DE SIGLAS

AMG	Amiloglucosidase
BMD	Bagaço de malte deslignificado
CA	Acetato de celulose
CervBrasil	Associação Brasileira da Indústria da Cerveja
CP	Corpo de Prova
DSC	Calorimetria Exploratória Diferencial
$F_m$	Força máxima
FTIR	Espectrofotometria infravermelha por transformada de Fourier
GOD	Glicose oxidase
MCC	Microcristalina
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MFC	Microfibrilada
NCC	Nanocristalina
NFC	Nanofibrilada
PHAs	Polihidroxicanoatos
PHB	Ácido polihidroxibutirato
PLA	Ácido polilático
PVA	Acetato de polivinila
RT	Resistência a Tração
Sindicerv	Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja
Tg	Temperatura de transição vítrea

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivos gerais.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>Resíduos agroindustriais .....</b>	<b>13</b>
3.1.1	Bagaço de malte.....	14
3.1.2	Levedura residual.....	15
<b>3.2</b>	<b>Embalagens .....</b>	<b>16</b>
3.2.1	Celulose .....	18
3.2.2	Blendas poliméricas .....	19
<b>3.3</b>	<b>Aditivos .....</b>	<b>22</b>
3.3.1	Plastificantes .....	22
3.3.2	Agente de reticulação.....	23
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterização do bagaço de malte.....</b>	<b>25</b>
4.1.1	Determinação de celulose .....	25
4.1.2	Umidade .....	26
4.1.3	Cinzas .....	26
4.1.4	Proteínas .....	27
4.1.5	Lipídeos.....	27
4.1.6	Fibra alimentar.....	28
<b>4.2</b>	<b>Extração da celulose e rendimento .....</b>	<b>29</b>
4.2.1	Deslignificação (estágio I) .....	29
4.2.2	Tratamento com ácido fórmico, ácido acético e peróxido de hidrogênio (estágio II).....	29
4.2.3	Branqueamento (estágio III).....	29
<b>4.3</b>	<b>Obtenção das Blendas Poliméricas.....</b>	<b>30</b>
4.3.1	Delineamento Experimental .....	30
4.3.2	Preparação da polpa .....	30
<b>4.3.3</b>	<b>Propriedades mecânicas .....</b>	<b>32</b>
<b>4.4</b>	<b>Densidade .....</b>	<b>33</b>
<b>4.7</b>	<b>Umidade do material de embalagem .....</b>	<b>34</b>

<b>4.5</b>	<b>Condutividade térmica .....</b>	<b>34</b>
<b>4.6</b>	<b>Absorção em água .....</b>	<b>35</b>
<b>4.7</b>	<b>Análise estatística .....</b>	<b>36</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>37</b>
<b>5.1</b>	<b>Caracterização do bagaço de malte.....</b>	<b>37</b>
<b>5.3</b>	<b>Extração da celulose.....</b>	<b>37</b>
<b>5.4</b>	<b>Obtenção das Blendas Poliméricas.....</b>	<b>39</b>
<b>5.5</b>	<b>Propriedades mecânicas .....</b>	<b>41</b>
5.5.1	Resistência a tração .....	41
5.5.2	Deformação .....	44
<b>5.6</b>	<b>Densidade .....</b>	<b>45</b>
<b>5.7</b>	<b>Umidade .....</b>	<b>50</b>
<b>5.8</b>	<b>Condutividade térmica .....</b>	<b>51</b>
<b>5.9</b>	<b>Absorção em água .....</b>	<b>56</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>59</b>
<b>6.1</b>	<b>Sugestões .....</b>	<b>59</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>60</b>
	<b>ANEXO A.....</b>	<b>67</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Tendo em vista que a ciência e a tecnologia estão evoluindo cada vez mais com o passar dos anos, jornais, revistas, papéis, folhas de caderno e rascunhos estão entrando em desuso. Nesse sentido, indústrias que os utilizam para a fabricação de seus produtos devem se atentar à busca de novas fontes de matéria-prima.

Esses materiais celulósicos são amplamente utilizados para a fabricação de embalagens, tanto para acondicionamento como para transporte de eletrodomésticos, eletroeletrônicos, produtos químicos, farmacêuticos e alimentícios. Embalagens de polpa moldada têm sua aplicação em sua maioria nas indústrias de alimentos para permitir a troca gasosa de frutas, legumes e ovos, devido à característica porosa do material.

A necessidade de produzir materiais renováveis é um grande desafio e atraiu o interesse de pesquisadores de todo o mundo (HAFFMANN, 2019). O crescente acúmulo de resíduo não biodegradável, devido à sua complexidade e viabilidade de tratamento tem gerado um desafio aos pesquisadores a fim de desenvolver novos materiais biodegradáveis. Atualmente, há um grande número de pesquisas com o propósito de desenvolver tecnologias e produtos baseados em recursos naturais com capacidade de degradação elevada sem gerar resíduos tóxicos.

O Brasil destaca-se pela disponibilidade de recursos naturais renováveis, que podem ser usados no desenvolvimento de materiais biodegradáveis. A utilização adequada destes resíduos ajuda a minimizar problemas ambientais e energéticos, podendo gerar produtos com relevantes aplicações nas indústrias de embalagens (MARENGO, 2013).

Considerando o exposto, embalagens biodegradáveis no sistema orgânico de produção agropecuária, devem utilizar recursos naturais e socioeconômicos disponíveis para a otimização, respeitar à integridade cultural das comunidades rurais, tendo por objetivo a sustentabilidade econômica e ecológica, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energia não-renovável. Também, devem-se empregar, sempre que possível, métodos culturais, biológicos e mecânicos, em contraposição ao uso de materiais sintéticos, a eliminação do uso de organismos geneticamente modificados e radiações ionizantes, em qualquer fase do

processo de produção, processamento, armazenamento, distribuição e comercialização, e a proteção do meio ambiente (BRASIL, 2007).

A utilização de resíduos agroindustriais gera um grande interesse para obtenção de blendas poliméricas reforçadas. Geralmente, esses materiais são ricos em fibras, como bagaço de cana-de-açúcar, bagaço de uva, bagaço de malte, folhas e talos de verduras e legumes. Materiais fibrosos e celulósicos podem servir como fonte de reforço em materiais de construção e embalagens, melhorando a resistência mecânica e servindo como isolante térmico por apresentar baixa condutividade térmica.

O bagaço de malte é utilizado principalmente como fonte de fibras para a ração animal. Entretanto, é gerada uma grande quantidade desse resíduo devido à ampla produção de cerveja no Brasil, deixando possibilidades de novos estudos com o composto para a retirada deste do meio ambiente, e submetê-lo a uma aplicação tecnológica.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos gerais**

Desenvolver e caracterizar material de embalagem a base de resíduos cervejeiros.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar o bagaço de malte de cevada quanto à composição centesimal e proporção de celulose.
- Desenvolver material de embalagem a partir do bagaço de malte com adição de levedura residual, amido, plastificante e agente reticulante.
- Verificar a capacidade de isolamento térmico do material desenvolvido.
- Caracterizar o material de embalagem quanto às propriedades mecânicas.
- Comparar o material desenvolvido com embalagem comercial de ovos.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Resíduos agroindustriais

Os resíduos agroindustriais estão sendo produzidos em bilhões de toneladas por ano em todo o mundo, mas a maioria destes é descartada no meio ambiente ou queimada (HASSAN; WILLIAMS; JAISWAL, 2018). O uso adequado dos resíduos ajuda a minimizar o impacto ambiental, além de poder gerar produtos relevantes com aplicações em indústrias farmacêuticas, indústrias químicas e indústrias alimentícias (MELLO; VERGÍLIO; MALI, 2014).

A maior parte da biomassa vegetal de baixo valor é chamada lignocelulósica e refere-se aos principais biopolímeros constituintes dos resíduos, que são celulose, hemicelulose e lignina. A celulose, substância renovável de maior abundância disponível atualmente, torna-se uma fonte quase inesgotável de matéria-prima para a crescente demanda por produtos ecológicos (HAFEMANN et al., 2019).

O uso de fibras lignocelulósicas para reforço em matrizes poliméricas de amido é interessante, visto que essas reduzem a rigidez e melhoram a biodegradabilidade do material. Vários estudos mostraram que o uso de fibras naturais, como bagaço de mandioca, bagaço de cana, fibra de coco, farelo de soja, bagaço de malte melhoram as propriedades físicas e mecânicas de embalagens à base de amido (CARR, 2007; MALI et al., 2010; MARENGO; VERCELHEZE; MALI, 2013; IVANO, 2013). Essa melhoria é atribuída à semelhança estrutural entre as moléculas de celulose e amido, o que permite uma forte interação entre a matriz polimérica e o material de reforço celulósico (MELLO; VERGÍLIO; MALI, 2014).

Compósitos reforçados com fibra apresentam excelentes propriedades específicas, como alta resistência, baixo peso e boa propriedade de barreira. Nesse sentido, as fibras naturais são interessantes devido suas propriedades de adesão à matriz das fibras, particularmente de materiais com matriz polar e seu peso. Estes materiais estão amplamente disponíveis na natureza e frequentemente são resíduos de vários processos industriais e de baixo custo (VERCELHEZE et al., 2012).



### 3.1.1 Bagaço de malte

O bagaço de malte, material rico em fibras, composto pelas cascas do malte da cevada moída, contém em geral 17% de celulose, 28% de lignina e 28% de hemicelulose, podendo variar decorrente da variedade da cerveja (FLORINDO, 2017).

A composição química do bagaço de malte varia em função da variedade do grão utilizado, da época de colheita, das condições de moagem e maltagem do grão e da qualidade e tipos de adjuntos adicionados no processamento da cerveja (IVANO, 2013).

Vários estudos foram realizados para incorporar o bagaço de malte à dieta humana, como biscoitos, lanches e produtos panificáveis para substituição parcial da farinha de trigo. Outra aplicação para este subproduto é para a produção de energia, por combustão em caldeiras, e produção de combustível alternativo através da sua fermentação. Atualmente, esse subproduto sólido fibroso, rico em proteínas e energia é potencialmente utilizado como ingrediente de ração animal, principalmente de vacas, ao resultar um aumento na produção de leite (CORDEIRO; EL-AOUAR; ARAÚJO, 2012; HEJNA; FORMELA; SAEB, 2015).

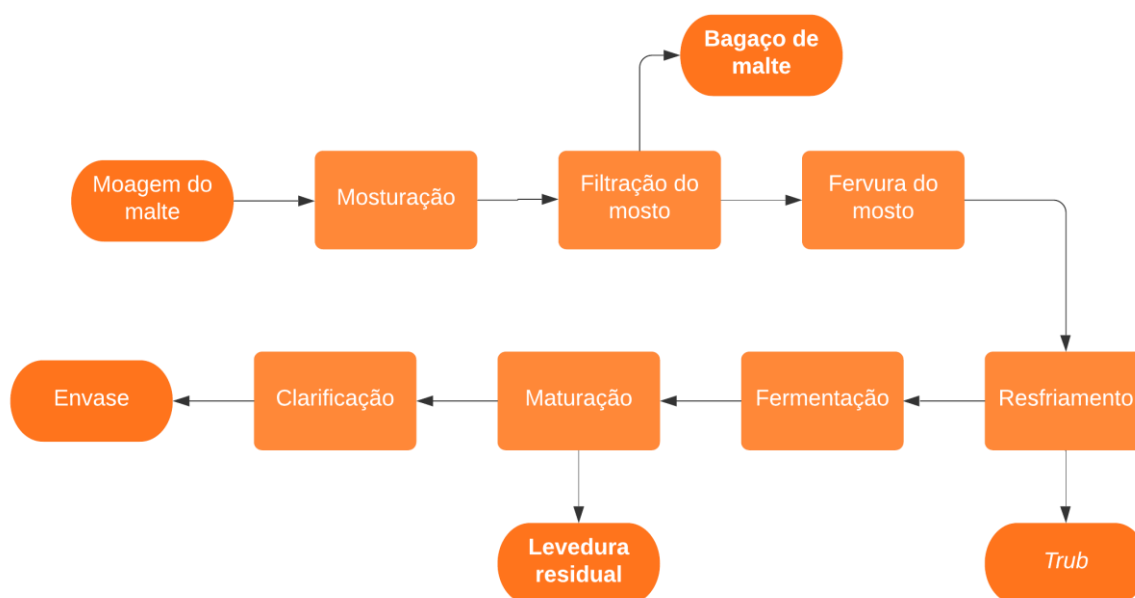
Segundo a Associação Brasileira da Indústria da Cerveja, CervBrasil (2020), e o Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja, SINDICERV (2020), o Brasil é o terceiro país maior produtor de cerveja do mundo, com uma produção de 13,3 bilhões de litros por ano, atrás da China (46 bilhões) e dos Estados Unidos (22,1 bilhões). A República Tcheca é o maior consumidor de cerveja com média de 143 litros por habitante por ano, enquanto que o Brasil é o 17º país no consumo *per capita*, contribuindo com 2% do PIB nacional.

O Paraná apresenta o quinto maior número de cervejarias no Brasil, com 146 estabelecimentos registrados e um crescimento médio de 30,4% de acordo com o Anuário da Cerveja (2020), ficando atrás de São Paulo (285 cervejarias), Rio Grande do Sul (258), Minas Gerais (178) e Santa Catarina (175). No entanto, a densidade cervejeira do estado do Paraná é de 78.882 habitantes para uma cervejaria

O processo de fabricação da cerveja consiste na fermentação do mosto por leveduras, que transformam os açúcares presentes no malte em álcool e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). O mosto é uma mistura líquida obtida após a etapa de mosturação do grão maltado com água e aquecimento em dornas. Ao mosto podem ser adicionados o lúpulo e adjuntos como, milho, trigo, entre outros, dependendo da variedade da

cerveja a ser produzida. Após o preparo, o mosto é fermentado e então maturado, clarificado e envasado. Durante a fabricação da cerveja são descartados o bagaço de malte, o  *trub*  e a levedura residual (Figura 1) (KUBASKI; ITO, 2017).

**Figura 1:** Processo de fabricação da cerveja.



Fonte: Autoria própria, 2019

Foi documentado que o bagaço de malte representa 85% do total de subprodutos da fabricação de cerveja. Se para cada 100 litros de produto são utilizados de 14 a 20 kg de malte, 6,2 kg de bagaço de malte são gerados para um hectolitro da cerveja produzida (HEJNA; FORMELA; SAEB, 2015).

Considerando o exposto, a alta produção de cerveja gera uma grande quantidade de bagaço de malte, potencialmente utilizável para outras aplicações como em blendas poliméricas reforçadas, em conjunto com amido e aditivos como, plastificantes e agentes de reticulação para reforço.

### 3.1.2 Levedura residual

São denominadas leveduras os fungos unicelulares, amplamente distribuídas na natureza, na água, no solo, plantas, ar e animais. As leveduras são utilizadas para a fabricação de bebidas, pães e outros produtos fermentados, já que na ausência de

oxigênio, podem realizar a fermentação alcoólica produzindo etanol e CO<sub>2</sub>, sendo a mais utilizada para tais transformações a *Saccharomyces cerevisiae* (SENAI, 2000).

A levedura tem sido utilizada pelos humanos durante séculos para produzir produtos alimentares como cerveja, vinho, pão e kefir, e como fonte de vitaminas e proteínas do complexo B (KOT et al., 2021). No processamento da cerveja, a *S. cerevisiae* utiliza o amido presente no grão de malte, e quando a fermentação é encerrada, segue-se o período de maturação, no qual a massa de levedura excedente é recuperada por sedimentação natural (CAVALHEIRO et al., 2019).

Células de levedura apresentam em sua composição 40,6 a 58,0% de proteínas, 35,0 a 45,0% de carboidratos, 4,0 a 6,0% de lipídeos, 5,0 a 7,5 % de vitaminas e minerais que variam de acordo com seu tipo e condições de crescimento (BEKATOROU; PSARIANOS; KOUTINAS, 2006).

### 3.2 Embalagens

Embalagem é dada como o recipiente que acondiciona determinado produto, protegendo o alimento de reações químicas, enzimáticas e microbiológicas. Protege o alimento contra perdas, facilita o transporte, e distribuição e atrai os consumidores.

Embalagens de alimentos servem como uma ferramenta de identificação e comunicação entre produtor e consumidor, apresentando detalhes do produto, informações nutricionais, benefícios à saúde, instruções de uso e armazenamento, local de fabricação, data de fabricação, data de validade e outras informações relevantes. A embalagem também é uma ferramenta de otimização auxiliar para compra de uma quantidade desejada de produtos e indiretamente ajuda na redução de resíduos (KALPANA et al., 2019).

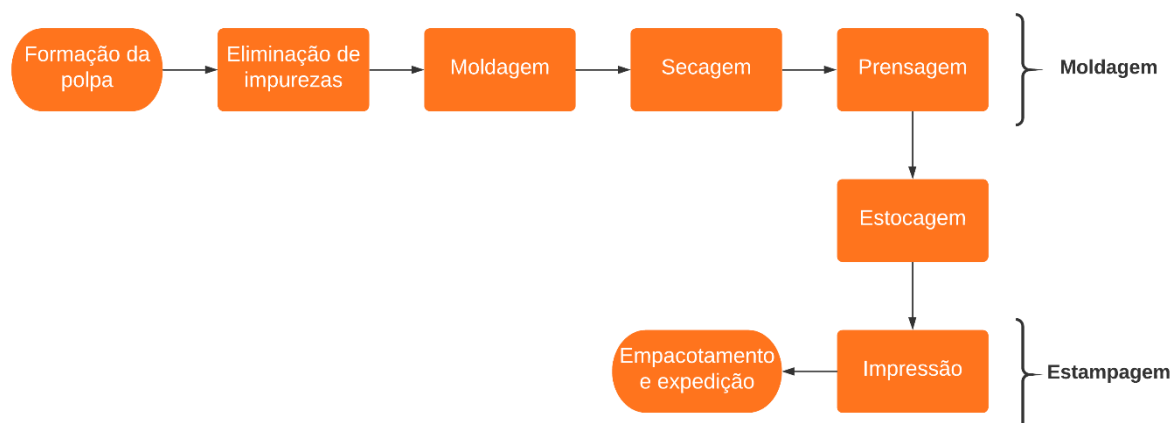
O tempo de prateleira de alimentos é definido através das propriedades do alimento em si, mas também dos atributos das embalagens. Estas não devem ser tóxicas, e devem ser compatíveis com o alimento, contribuindo com a proteção sanitária, a resistência ao impacto e resistência à umidade, além de possuir boa aparência, causar boa impressão e ser de fácil eliminação (KUBASKI; ITO, 2017).

As embalagens podem ser feitas de vidro, plástico, metal, papel e celulose, ou ainda a junção de dois ou mais componentes (compósitos). Dentro das embalagens de papel e celulose, encontram-se as embalagens de polpa moldada,

feitas de resíduos de papel e água, sendo 100% biodegradável. O processo implica a recuperação de materiais descartados, especialmente produtos feitos de fibras de papel como papelão, livros, jornais, revistas, visto que possuem um alto teor de celulose. Nesse contexto, a indústria de embalagens de polpa moldada é relevante e tem uma ótima perspectiva (MARTÍNEZ; TOSO; MORABITO, 2016).

Embalagens de polpa moldada dentro da indústria de alimentos englobam embalagens secundárias e terciárias, utilizadas para empacotamento, impressão e transporte, e primárias, para aquelas que acondicionam frutas e ovos. Com o tempo, os ovos começam inevitavelmente a sofrer alterações estruturais que podem levar a uma perda de qualidade e, eventualmente, à deterioração. Embora não possam ser completamente evitadas, essas alterações podem ser retardadas com o gerenciamento das condições de armazenamento (GIAMPIETRO-GANECO et al., 2015).

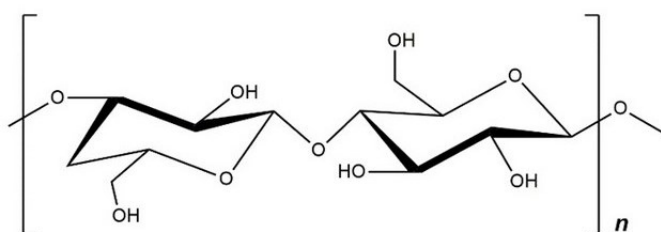
O processo de produção de embalagens em polpa moldada envolve os estágios de moldagem e estampagem (Figura 2). Começa na etapa de mistura, onde as matérias-primas são misturadas com água quente em um equipamento conhecido como *Hidra Pulper*, e aproximadamente após 20 minutos, tornam-se polpa. Depois disso, a polpa passa por um conjunto de peneiras vibratórias que retêm impurezas. Em seguida, a polpa vai para um tanque de armazenamento, que fornece a moldagem. O processo de moldagem utiliza máquinas rotativas com várias faces, sendo personalizados moldes de design. Esses moldes descem para um tanque cheio de celulose, onde é sugado através de um processo a vácuo. A polpa se acumula na espessura e resistência desejadas, enquanto o excesso de água é removido. Depois disso, os produtos são retirados da máquina rotativa e movidos para um forno onde são cuidadosamente secos de 10 a 15 minutos, em temperaturas entre 140 - 240 °C dependente da umidade do material. Depois da secagem, as embalagens passam pela etapa de prensagem, cujo objetivo é propiciar um melhor acabamento e resistência ao produto, deixando-o apto para o processo de estampagem (MARTÍNEZ; TOSO, 2015; MARTÍNEZ; TOSO; MORABITO, 2016).

**Figura 2:** Processo de produção de embalagens de polpa moldada.

Fonte: Adaptado de Martínez e Toso, 2015.

### 3.2.1 Celulose

A celulose é o polissacarídeo mais abundante produzido na natureza, também através de microrganismos. Está incorporada como uma matriz na parede celular de plantas junto com hemicelulose, lignina e pectina (WEERAPPULIARACHCHI et al., 2020; GABRIEL et al., 2020). Na Figura 3 está apresentada a representação esquemática molecular da celulose, constituída por unidades de glucose unidas por ligações  $\beta$  1 $\rightarrow$ 4.

**Figura 3:** Estrutura molecular da celulose.

Fonte: Adaptado de Moreira et al., 2019

De acordo com Youssef e El-Sayed (2018), as microfibras de celulose consistem em áreas cristalinas e amorfas que são dispersas ao longo de seu comprimento. E tanto o tratamento mecânico de fibras de celulose sob moagem, quanto o químico, permitem o aumento da superfície de contato de fibras de celulose em diferentes graus, dependendo da intensidade do processamento, resultando em celulose microfibrilada (MFC), celulose microcristalina (MCC), celulose nanofibrilada

(NFC) ou nanocristalina (NCC). Os autores ainda citam que essa última é a celulose pura em forma cristalina, em dimensões nanométricas, que pode ser obtida através de hidrólise enzimática ou em condições moderadas de hidrólise ácida. É utilizada para a produção de formas de gel, líquido ou pó, através da eliminação das áreas amorfas. A NCC, um dos materiais naturais existentes mais fortes e inflexíveis, exibe grande resistência à tração, alta rigidez e grande área de superfície. Contudo, a NFC proporciona maior rigidez, boas propriedades de tração e flexão e boa resistência à barreira de oxigênio. Assim, um método avançado com celulose nanofibrilada pode ser uma maneira valiosa para o progresso de embalagens sustentáveis com propriedades aprimoradas e para o gerenciamento qualitativo e ecológico dos materiais usados nas embalagens.

A exposição da celulose à umidade pode ser crítica devido a difusão de moléculas de água na matriz, que podem ocasionar a degradação prematura de materiais compósitos feitos com fibras de celulose (DUNGANI et al., 2019).

Para melhor aproveitamento da celulose, o material deve passar por um processo de fibrilação para remover os demais componentes. Esse tratamento passa por tratamento alcalino, seguido pela explosão do vapor, o que ajuda a diminuir a duração do procedimento e se baseia em três etapas principais: tratamento alcalino, branqueamento e hidrólise ácida. As etapas de álcali e branqueamento são tratamentos purificadores, que eliminam componentes não celulósicos, como hemicelulose, pectina e lignina da matriz. A hidrólise ácida é uma maneira eficiente e fácil de fragmentar as regiões amorfas nas cadeias de celulose para produzir celulose microcristalina (WEERAPPULIARACHCHI et al., 2020).

### **3.2.2 Blendas poliméricas**

As blendas poliméricas são feitas combinando polímeros típicos em uma fase matricial. Os polímeros são importantes, pois mantêm o material unido e produzem fibras de alta rigidez e alta resistência no interior. Os materiais poliméricos fortificados com fibra de celulose estão recebendo cada vez mais atenção devido a sua baixa densidade e aplicabilidade. (DUNGANI et al., 2019).

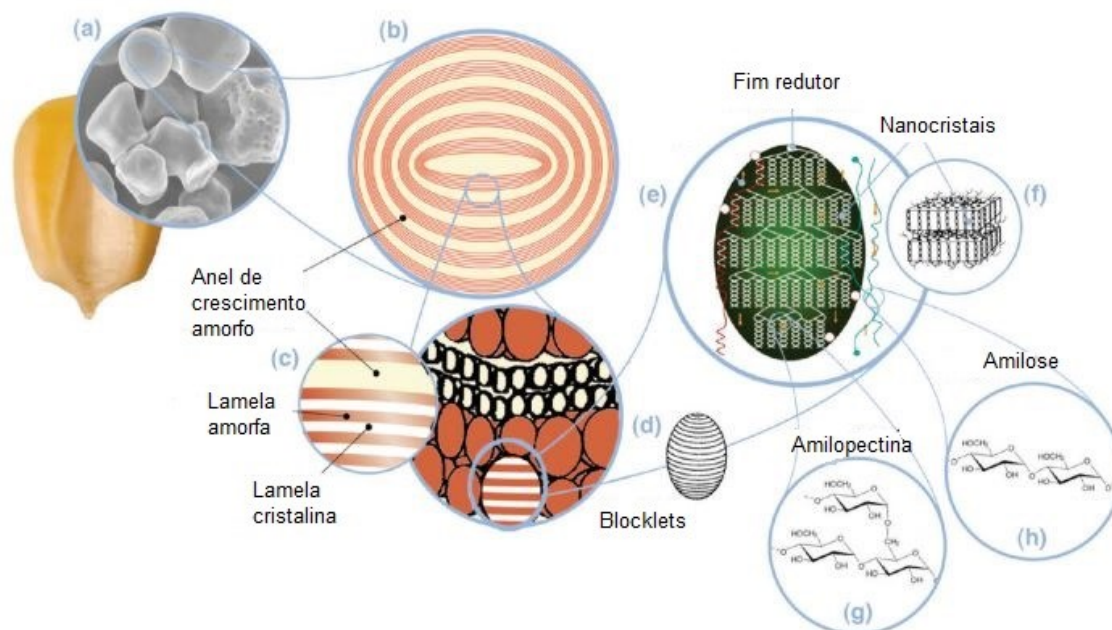
Esses materiais fortificados com fibra de celulose geralmente apresentam fonte de fibras naturais, tais como fibras de coco, banana, sisal, bagaço de cana, eucalipto, bambu, folha de abacaxi, semente de algodão e polímeros naturais como

amido, fécula, caseína, soro de leite, pectina, ácido polilático (PLA), polihidroxibutirato (PHB), acetato de celulose (CA) e polihidroxialcanoatos (PHAs). As fibras naturais são produzidas em bilhões de toneladas anualmente em todo o mundo; portanto, são abundantes e possuem um baixo custo. Além de possuir propriedades mecânicas comparáveis com as fibras sintéticas comerciais, as fibras naturais altamente são preferíveis em aplicações onde o peso e a rigidez são umas das principais preocupações. Possuem estabilidade térmica, propriedades acústicas, melhor formabilidade, são renováveis e conferem segurança à saúde para o fabricante (SABA; JAWAID; ASIM, 2016; KARIMI et al., 2014; IVANO, 2013).

Fibras naturais ou resíduos agroindustriais têm grande potencial para serem utilizados como reforços na fabricação de embalagens. Várias tentativas bem-sucedidas foram feitas para melhorar as propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibra, incorporando carga obtida a partir de biomassa. Ivano (2013), ao desenvolver uma embalagem biodegradável tipo espuma utilizando fécula de mandioca e bagaço de malte, constatou que as bandejas produzidas apresentaram uma boa distribuição das fibras do bagaço de malte à matriz polimérica, aumentando a resistência máxima à tração.

Dos polímeros naturais, o mais estudado é o amido devido sua abundância na natureza, baixo custo, baixa toxicidade e biodegradabilidade. Possui propriedades que compreendem o tamanho e formato dos grânulos. Os grânulos de amido consistem em anéis de crescimento amorfo e semicristalino. O número e a espessura dessas camadas dependem da origem botânica do amido. Esquemáticamente, os anéis de crescimento semicristalinos consistem em uma pilha de lamelas cristalinas e amorfas repetidas. A Figura 4 ilustra o grânulo de amido do grão de milho em suas múltiplas escalas, na qual podem ser vistos: (a) grânulo de amido de milho normal (30  $\mu\text{m}$ ); (b) anéis de crescimento da região amorfa e semicristalina (120-00 nm); (c) lamelas cristalina e amorfa (9 nm), ampliação dos detalhes dos anéis de crescimento da região semicristalina; (d) blocklets (20-50 nm) constituindo uma unidade dos anéis de crescimento; (e) duplas hélices da amilopectina formando a lamela cristalina dos blocklets; (f) nanocristais: fração da lamela cristalina quando separados por hidrólise ácida; (g) estrutura molecular da amilopectina; (h) estrutura molecular da amilose (0,1-1 nm) (CORRE; BRAS; DUFRESNE, 2010).

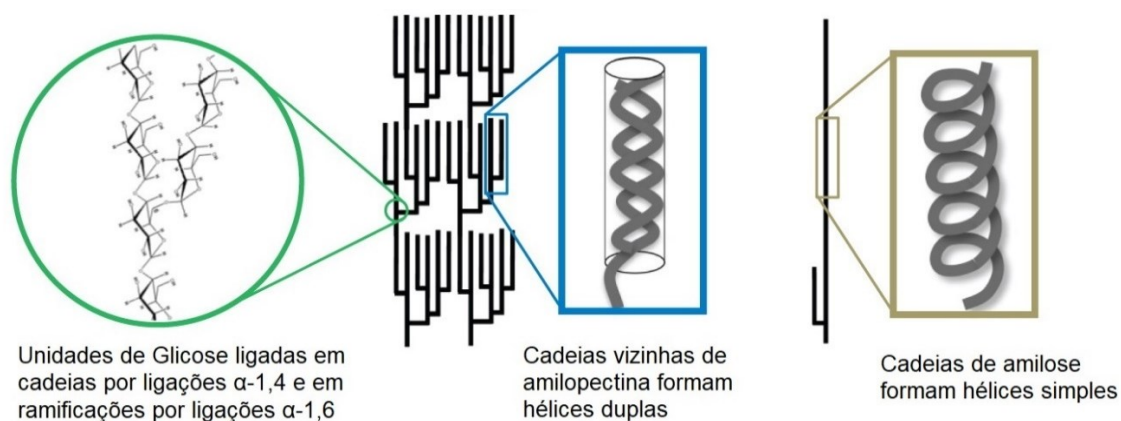
**Figura 4:** Representação do grânulo de amido em múltiplas escalas.



Fonte: Adaptado de Corre, Bras e Dufresne (2010).

O amido, polímero de D-glicose corresponde por ligações glicosídicas ( $\alpha$  1-4) que formam a fração linear, amilose, e a fração ramificada, amilopectina os monossacarídeos são ligados por ligações ( $\alpha$  1-6) e ( $\alpha$  1-4) (Figura 5). Os experimentos de difração de raios X sugerem que cerca de 70% da massa de grânulos de amido é considerada amorfa, principalmente a amilose, e a amilopectina permanece 30% como cristalina ou semicristalina (V et al., 2019).

**Figura 5:** Estrutura da amilose e amilopectina.



Fonte: Adaptado de Zeeman, Kossmann e Smith (2010).



O amido não apresenta solubilidade em água fria e, quando submetido a aquecimento em água e agitação, é gelatinizado, uma vez que ocorre quebra das ligações de hidrogênio entre as estruturas lineares e ramificadas, causando o inchamento dos grãos a perda da cristalinidade, e o lixiviamento da amilose, aumentando sua viscosidade. Após o resfriamento dessa organização, as moléculas de amido se aproximam o suficiente para formar cristais, ligações intermoleculares são reestabelecidas, e a água ligada é expulsa das moléculas, denominando esse fenômeno como retrogradação (IVANO, 2013).

Embalagens obtidas a partir de amido apresentam boas propriedades mecânicas e custo competitivo no mercado. Entretanto, devido ao seu caráter hidrofílico, possui baixa resistência; dessa forma produtos com elevado teor de umidade são prejudicados ao serem embalados nesse tipo de material (KUBASKI; ITO, 2017).

### **3.3 Aditivos**

#### **3.3.1 Plastificantes**

Plastificantes são moléculas relativamente pequenas e de baixa massa molar. Essas espécies químicas são adicionadas aos materiais poliméricos com intenção de melhorar, principalmente, a flexibilidade e a maleabilidade de materiais rígidos, assim como a aplicabilidade desse material (BANEGAS, 2011).

A adição de plastificantes, provoca o aumento do volume livre dentro das cadeias poliméricas, proporcionando sua mobilidade, e resultando na diminuição da temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) tornando assim o material mais flexível e de fácil processamento. Adicionalmente, a diminuição da  $T_g$  aumenta a resistência ao impacto em baixas temperaturas, e diminuição na resistência ao calor (SOUZA; CORIO; TEMPERINI, 2009; BANEGAS, 2011; IVANO, 2013).

Plastificantes podem ser encontrados em fontes vegetais e sintéticas. O glicerol, álcool com três carbonos em sua estrutura e massa molar de  $98 \text{ g mol}^{-1}$ , pode ser obtido de fontes naturais (fermentativa) ou via química. É um líquido incolor, viscoso, sem cheiro e hidrofílico, sendo bastante utilizado em indústrias farmacêuticas, cosméticas e alimentícias (KUBASKI; ITO, 2017). Possui três grupos hidrofílicos alcoólicos hidroxil, responsáveis por sua completa miscibilidade com a

água e a sua natureza altamente higroscópica. Uma rede altamente ramificada de moléculas ligadas por ligações de hidrogênio existe em todas as fases e a todas as temperaturas. A dinâmica molecular da substância sugere que, em média, 95% das moléculas no líquido são ligações de hidrogênio. Devido a isto, o glicerol é altamente flexível, formando ligações de hidrogênio tanto intra como intermoleculares (PAGLIARO, 2017).

Esse álcool possui uma alta capacidade de utilização como matéria-prima para síntese de materiais poliméricos devido sua funcionalidade, interagindo com as cadeias de amido, aumentando a mobilidade molecular e a flexibilidade de materiais (SHIMAZU; MALI; GROSSMANN, 2007).

Polissacarídeos naturais, de diferentes fontes, constituem um dos recursos renováveis mais importantes. Devido à variedade de composição e estrutura química, são particularmente versáteis e encontram aplicação em vários campos, como engenharia de tecidos, alimentos, produção de embalagens e bioplásticos. Além disso, a biodegradabilidade, a renovabilidade e a não toxicidade dos polissacarídeos os tornam particularmente promissores como substitutos dos plásticos à base de petróleo (DONATO et al., 2020).

### **3.3.2 Agente de reticulação**

Agentes de reticulação pode permitir reticulação covalente além de estabilização eletrostática exclusiva de heteroagregados formados com emulsificantes ricos em proteínas e polifenóis (MAIER et al., 2016).

Diversas substâncias para reticulação foram revelados para glutaraldeído, formaldeído, glioxal e ácido maleico. A reticulação por glutaraldeído por grupos acetais, mesmo em baixa concentração de catalisador ácido mostrou bons resultados através de indicadores de estabilidade como teste de pressão interna e, principalmente, a reticulação revelada por espectroscopia infravermelha por transformada de Fourier (FTIR) (CHOI; KHAN; JUNG, 2019; VALIZADEH et al., 2019).

Durante a reticulação de biomoléculas, o glutaraldeído pode reagir com vários grupos funcionais. Grupos  $\epsilon$ -amina de glutaraldeído, mostram alta tendência a doar elétrons ou reagir em locais pobres em elétrons de biomoléculas para produzir uma base de Schiff não conjugada. Estudos com quitosana e os efeitos da reticulação

foram realizados, nos quais ocorreu o aumento do grau de ligação cruzada (VALIZADEH et al., 2019).

De acordo com Hulupi e Haryadi (2019), a modificação de polímeros naturais e sintéticos por reticulação ou cura é um método significativo para alcançar um novo material e aprimorado. Em estudos, a alteração do PVA através da reticulação com seus grupos hidroxila abre novos domínios de aplicação para este material. Considerando o exposto, em seu trabalho com nanofibras de PVA, os filmes em que foram adicionados glutaraldeído, apresentaram maior resistência a água, mecânica e térmica, comparados aos filmes com ausência deste agente reticulante.

Glutaraldeído é um reticulador químico bastante utilizado para polímeros que possuem grupamentos hidroxila. A condição ácida desempenha o papel catalítico na acetalização do reticulante com os grupos hidroxila na superfície de fibras nanocristalinas (AKYON; LIPUS; BIBBY, 2019).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização do bagaço de malte

O estudo foi realizado nos laboratórios da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus de Francisco Beltrão – PR. O bagaço de malte de cevada e levedura residual utilizados foram cedidos pela microcervejaria Schaf Bier, situada no município de Francisco Beltrão. A levedura residual foi coletada diretamente nos reatores de fermentação em batelada, guardada em garrafas PET e mantidas sob refrigeração até o início da realização das análises. O bagaço foi recolhido após o processo cervejeiro da cerveja Pilsen, de três lotes diferentes secos em estufa de circulação de ar à 60 °C por um período de 24 horas, armazenados em sacos plásticos em refrigerador até o momento das análises.

#### 4.1.1 Determinação de celulose

Para a determinação da celulose, inicialmente, a amostra foi preparada como sólidos insolúveis em etanol – AIS (RENARD; GINIES, 2009). Para tanto, aproximadamente 5 g de amostra seca em estufa à 60 °C por 24 horas foi lavada com etanol a 70% e filtrada em cadinhos de Gooch e filtros de tecido sintético para proporcionar a ausência de açúcares. Em seguida, a amostra foi lavada duas vezes com acetona: água: ácido acético (v/v/v) (60:39:1), depois duas vezes com acetona: solução aquosa (v/v) (80:20), depois com acetona pura até descoloração do sobrenadante. O resíduo sólido foi seco a 40 °C durante 4 horas.

Posteriormente, foi feita a hidrólise de material insolúvel em água, sendo pesados entre 8 e 12 mg de cada amostra em tubos com tampa, adicionados de 250 µL de ácido sulfúrico 72% (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) (Reatec), com agitação intensa em vórtex. Esses tubos permaneceram uma hora em temperatura ambiente (± 20 °C) com agitação a cada quinze minutos. Posteriormente, foram adicionados 1,7 mL de água ultra pura, com homogeneização. Os tubos foram acondicionados em um bloco digestor a 100 °C, com agitação ocasional. Ao término dessa hidrólise, os tubos foram resfriados sob água corrente e permaneceram em repouso para deposição do material insolúvel. Esse processo é denominado hidrólise de Saeman.

Para hidrólise simples 1 mL de água ultra pura foi adicionada sobre 8 a 12 mg de cada amostra, em tubos com tampa. Após agitação em vórtex, foi adicionado 1 mL de ácido sulfúrico 2M (Reatec), homogeneizados vigorosamente em seguida. Os tubos permaneceram a 100 °C durante três horas, com agitação ocasional, sendo resfriados depois de decorrido esse tempo, sob água corrente. O resultado da diferença entre a glicose do sobrenadante da hidrólise de Saeman e da hidrólise simples resulta na glicose advinda da quebra da cadeia de celulose (INRA, 2009a).

O teor de glicose foi determinado através do método da glicose oxidase onde 30 µL da amostra foi homogeneizada com 3 mL do reagente (QUIMIGLIC – OX, Glicose Oxidase), em banho-maria a 37 °C por 5 minutos e posteriormente, foi feita a leitura em espectrofotômetro a 500 nm.

#### 4.1.2 Umidade

Foi realizado conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008), onde foram pesadas em cadinhos de porcelana previamente tarados cerca de 5 g de amostra, e submetidas à estufa a 105 °C até peso constante da amostra. Os cadinhos foram resfriados em dessecador, e posteriormente pesados. Para cálculo de umidade em base úmida foi utilizada a Equação 1:

$$m = \frac{\text{massa de água}}{\text{massa da amostra}} \times 100 \quad (1)$$

#### 4.1.3 Cinzas

A análise foi realizada conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008), sendo utilizadas as mesmas amostras nas quais foi determinada a umidade. Essas foram levadas à mufla em temperatura de 600 °C durante 6 horas, resfriadas em dessecador e foi determinado o teor de cinzas por gravimetria através da Equação 2.

$$\text{Cinzas \%} = \frac{100 \times \text{massa de cinzas}}{\text{massa da amostra}} \quad (2)$$

#### 4.1.4 Proteínas

Para a determinação de proteínas (CECCHI, 2003), foi realizada a digestão da amostra, com amostra pesada (0,5 g) em tubo de digestão, sendo adicionados 1 mL de peróxido de hidrogênio (Reatec), 2 mL de ácido sulfúrico (Reatec) e 0,7 g da mistura de digestão composta por sulfato de sódio, sulfato de cobre II. Após, o tubo foi acondicionado em bloco digestor a uma temperatura de 150 °C até que se evaporasse a água presente. Posteriormente, a temperatura foi elevada gradualmente até atingir 350 °C ou até a obtenção de uma amostra clareada (cor esverdeada), permanecendo nessa temperatura durante duas horas. Após resfriamento, foram adicionados 20 mL de água destilada e 10 mL de solução de hidróxido de sódio 40% (m/m) ao tubo de digestão e a amostra foi destilada em destilador de Kjeldahl. Cerca de 40 mL de destilado foram recolhidos em 5 mL de solução de ácido bórico 4% (m/m) e 2 gotas de indicador de proteínas (vermelho de metila + azul de bromocresol). Posteriormente, a amostra foi titulada com ácido clorídrico 0,1 molar e então calculada a porcentagem de nitrogênio presente na amostra (Equação 3).

$$\%N = \frac{V.N.f.0,014.100}{m(g)} \quad (3)$$

Onde: V é o volume de HCl (mL); N é a concentração do padrão (HCl); f é o fator de correção do padrão; m é a massa da amostra. Tendo conhecimento da porcentagem de nitrogênio presente e o fator específico da amostra, foi calculada a porcentagem de proteínas (Equação 4).

$$\%PB = \%N * FE \quad (4)$$

Sendo, FE o fator específico do alimento analisado.

#### 4.1.5 Lipídeos

Para a determinação de lipídeos foi seguida a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), onde 5 g da amostra foi pesada em papel filtro, amarrado e inserido no extrator tipo Soxhlet. Após, foi feito o acoplamento em balão de fundo

chato previamente tarado a 105 °C, adicionado de 350 mL de éter de petróleo (Alphatec). Foi adaptado a um refrigerador de bolas e mantido, sob aquecimento em chapa elétrica durante 8 horas. Posteriormente, o cartucho foi retirado e o éter do balão foi destilado em rotaevaporador, transferido para uma estufa à 105 °C, por uma hora, e resfriado em dessecador. O balão foi pesado e feito o cálculo de lipídeos por diferença gravimétrica.

#### **4.1.6 Fibra alimentar**

Para a determinação de fibra alimentar foi seguida a metodologia descrita no Procedimento Operacional Padrão para determinação de fibras solúvel e insolúvel desenvolvido pela Embrapa Agroindústria de Alimentos (2008), com adaptações. Cadinhos de Gooch foram inseridos na mufla a 525-550 °C durante uma hora, resfriados em dessecador e pesados. Em um erlenmeyer foi pesado 1 g de amostra e adicionado 50 mL de solução tampão fosfato (pH = 6) e coberto com papel alumínio. Os erlenmeyers foram colocados em banho maria de Dubnoff a 95-100 °C sob agitação de 100 rpm por 20 minutos para gelatinização do amido. Posteriormente, foi adicionado 0,1 mL da enzima  $\alpha$ -amilase (Termamyl SC – LNF), coberto novamente as vidrarias, ligado a agitação de 100 rpm por mais 35 minutos. Após, as amostras foram removidas, esfriadas à temperatura ambiente e ajustado o pH para 7,5 com NaOH 5% e HCl 5%. Foi adicionado 0,1 mL da solução de protease (LNF), cobertos os erlenmeyers e submetido a agitação de 100 rpm por 30 minutos em banho-maria a 60 °C. Foi ajustado o pH da amostra para 4,3 e adicionado 0,1 mL da solução de amiloglicosidase (AMG 300 L - LNF) sob agitação de 100 rpm por 30 minutos em banho-maria a 60 °C. Após, as amostras foram filtradas à vácuo. Os cadinhos foram levados à estufa em temperatura de 100 – 105 °C por uma hora e pesado.

Para a análise de fibra solúvel, o filtrado foi transferido para um béquer de 1000 mL e lavado o resíduo duas vezes com 15 mL de etanol 95% e duas vezes com 15 mL de acetona. Após, etanol 95% foi aquecido a 60 °C e adicionado quatro vezes o volume do filtrado. O béquer foi tampado com folha de alumínio e deixado o precipitado se formar à temperatura ambiente por 1 hora. Posteriormente, este foi filtrado e lavado novamente nas mesmas condições, os cadinhos com os resíduos foram colocados em estufa à 105 °C por uma hora, e resfriados em dessecador. Estes foram pesados e feito o cálculo por diferença gravimétrica.

## 4.2 Extração da celulose e rendimento

O bagaço de malte úmido foi submetido a três estágios de tratamento para extração da celulose e então, calculado o seu rendimento após cada etapa através da Equação 5.

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{massa final}}{\text{massa inicial}} \times 100 \quad (5)$$

### 4.2.1 Deslignificação (estágio I)

O processo de deslignificação do bagaço de malte foi realizado com adaptações de Gabriel (2020), Gomes e colaboradores (2017). O pré-tratamento alcalino foi realizado em frasco de 3 L com NaOH 10% em proporção 3:10 (p/v) de sólido para líquido de material úmido em autoclave 121 °C por 1 hora. Após, o material foi peneirado em peneira de MESH 18, filtrado e lavado continuamente com água destilada quente até obtenção de pH neutro.

### 4.2.2 Tratamento com ácido fórmico, ácido acético e peróxido de hidrogênio (estágio II)

A polpa deslignificada foi tratada com uma mistura de 20% de ácido fórmico, 20% de ácido acético e 7,5% de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) (2: 1: 2) em banho-maria à 90 °C por 1 hora e 30 minutos, em proporção de 1:10 (p/v). Posteriormente, a polpa foi filtrada e lavada com água quente (GABRIEL, 2020).

### 4.2.3 Branqueamento (estágio III)

O clareamento foi realizado tratando a polpa com 7,5% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em meio alcalino de 4% de NaOH na proporção de 1:10 (p/v), primeiro à temperatura ambiente por 30 minutos e depois em banho-maria a 70 °C por 30 minutos. Posteriormente, a polpa foi lavada repetidamente com água destilada a quente água para remover a lignina residual (GABRIEL, 2020).



## 4.3 Obtenção das Blendas Poliméricas

### 4.3.1 Delineamento Experimental

O delineamento experimental fatorial fracionado  $2^{5-1}$  (Tabela 1) foi utilizado para definir as concentrações das variáveis independentes nas amostras: 1) bagaço de malte deslignificado (BMD), 2) amido de milho, 3) levedura residual, 4) glicerol e 5) glutaraldeído. Essas concentrações foram definidas mediante pré-testes com as variáveis. As variáveis dependentes (respostas) foram: resistência a tração, deformação, densidade, umidade, condutividade térmica e absorção em água.

As variáveis codificadas  $X_1$  (BMD),  $X_2$  (Amido de milho),  $X_3$  (Levedura),  $X_4$  (Glicerol) e  $X_5$  (Glutaraldeído) foram estabelecidas em dois níveis de variação codificados como  $-1$  (mínimo) e  $+1$  (máximo) e com três repetições no ponto central, sendo utilizado o software Statistica versão 10 (STATISTICA, 2011)

### 4.3.2 Preparação da polpa

Para o preparo da polpa das blendas poliméricas foi adicionado ao bagaço de malte pré-tratado, solução de amido de milho (Maizena®) (2% em água a 96 °C por 2 horas em agitador magnético), levedura residual do processamento da cerveja, glicerol e glutaraldeído 1% nas proporções dispostas na Tabela 1. Foi calculada a umidade para cada componente conforme o item 4.1.2, e assim fixada a quantidade de água para todos os ensaios.

A homogeneização da polpa foi realizada em agitador turrax por 5 minutos com agitação a 300 rpm. O glutaraldeído foi adicionado após a mistura dos demais componentes e a mistura homogeneizada por mais 2 minutos. Posteriormente, a polpa preparada foi distribuída em recipiente de alumínio de 30 cm x 10 cm e disposta em estufa de circulação de ar (SL-102, Solab) a 60 °C por 15 horas (Figura 6).

**Tabela 1:** Delineamento experimental fatorial fracionado 2<sup>5-1</sup>.

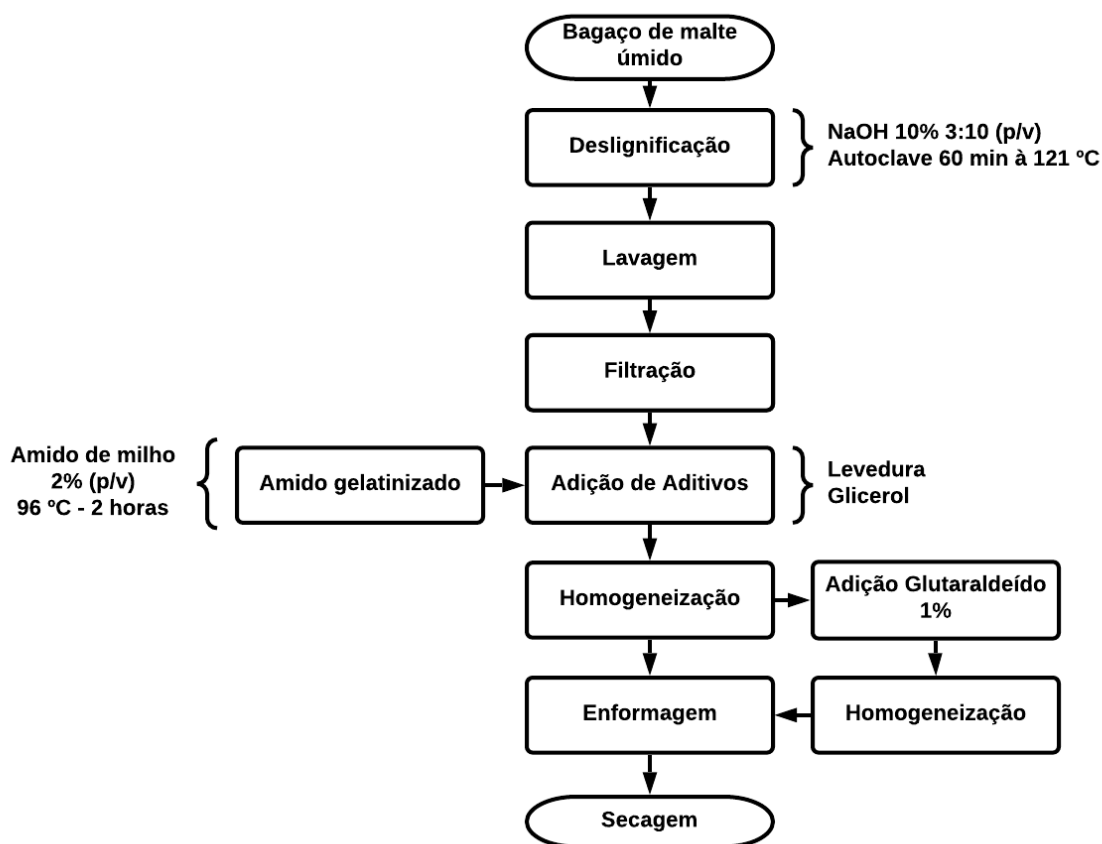
<b>Ensaio</b>	<b>BMD (X<sub>1</sub>) (g)</b>		<b>Amido de milho (X<sub>2</sub>) (g)</b>		<b>Levedura (X<sub>3</sub>) (g)</b>		<b>Glicerol (X<sub>4</sub>) (g)</b>		<b>Glutaraldeído 1% (X<sub>5</sub>) (g)</b>	
<b>1</b>	110	(1)	7,5	(-1)	2,5	(-1)	2,5	(-1)	0	(-1)
<b>2</b>	90	(-1)	7,5	(-1)	2,5	(-1)	7,5	(1)	0	(-1)
<b>3</b>	90	(-1)	7,5	(-1)	7,5	(1)	2,5	(-1)	0	(-1)
<b>4</b>	110	(1)	7,5	(-1)	7,5	(1)	7,5	(1)	0	(-1)
<b>5</b>	90	(-1)	12,5	(1)	2,5	(-1)	2,5	(-1)	0	(-1)
<b>6</b>	110	(1)	12,5	(1)	2,5	(-1)	7,5	(1)	0	(-1)
<b>7</b>	110	(1)	12,5	(1)	7,5	(1)	2,5	(-1)	0	(-1)
<b>8</b>	90	(-1)	12,5	(1)	7,5	(1)	7,5	(1)	0	(-1)
<b>9</b>	90	(-1)	7,5	(-1)	2,5	(-1)	2,5	(-1)	2	(1)
<b>10</b>	110	(1)	7,5	(-1)	2,5	(-1)	7,5	(1)	2	(1)
<b>11</b>	110	(1)	7,5	(-1)	7,5	(1)	2,5	(-1)	2	(1)
<b>12</b>	90	(-1)	7,5	(-1)	7,5	(1)	7,5	(1)	2	(1)
<b>13</b>	110	(1)	12,5	(1)	2,5	(-1)	2,5	(-1)	2	(1)
<b>14</b>	90	(-1)	12,5	(1)	2,5	(-1)	7,5	(1)	2	(1)
<b>15</b>	90	(-1)	12,5	(1)	7,5	(1)	2,5	(-1)	2	(1)
<b>16</b>	110	(1)	12,5	(1)	7,5	(1)	7,5	(1)	2	(1)
<b>17 (C)</b>	100	(0)	10	(0)	5	(0)	5	(0)	1	(0)
<b>18 (C)</b>	100	(0)	10	(0)	5	(0)	5	(0)	1	(0)
<b>19 (C)</b>	100	(0)	10	(0)	5	(0)	5	(0)	1	(0)

Fonte: Autoria própria, 2021

Após secagem, as amostras foram desenformadas e cortadas em tiras de 250 mm x 25 mm para os ensaios de resistência a tração, conforme corpo de prova disposto na ASTM D3039 (ASTM, 2002). E 25 mm x 25 mm para os corpos de prova para as análises de densidade e absorção em água.

Foi utilizada a amostra comercial de embalagem de ovos (Estojo para 12 ovos) como controle, para a verificação da viabilidade de aplicação das blendas poliméricas produzidas.

**Figura 6:** Fluxograma de obtenção das blendas poliméricas.

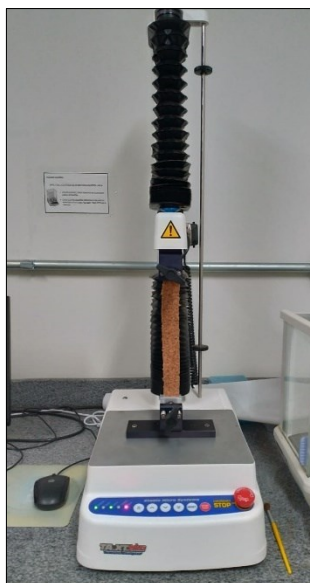


Fonte: Autoria própria, 2021.

### 4.3.3 Propriedades mecânicas

Os testes de propriedades mecânicas foram realizados de acordo com o método padrão ASTM D3039 (ASTM, 2002) em temperatura ambiente com adaptações. Foi utilizado o texturômetro TA.XT2 (Stable Micro System, Hasleme, Inglaterra). As garras do probe foram fixadas a uma distância inicial de 230 mm, com velocidade (0,1 %/s) para os testes de resistência à tração (RT) e deformação (Figura 7).

**Figura 7:** Ensaios de propriedades mecânicas em texturômetro.



Fonte: A autoria própria, 2021.

As blendas poliméricas foram cortadas em tiras de 250 mm de comprimento, 25 mm de largura. O cálculo para determinar os valores de RT e deformação são apresentados na Equação 6 e Equação 7.

$$RT = \frac{F_m}{A} \quad (6)$$

Onde, RT é a resistência à tração (Pa);  $F_m$ , a força máxima do momento da ruptura (N); A é a área da seção transversal ( $m^2$ ).

$$Deformação (\%) = \frac{d_r - d_{inicial}}{d_{inicial}} \times 100 \quad (7)$$

Onde,  $d_r$ : distância no momento da ruptura (mm), que corresponde à diferença entre a distância de separação no momento da ruptura e a distância inicial;  $d_{inicial}$ : distância inicial de separação (230 mm).

#### 4.4 Densidade

A análise de densidade foi realizada com adaptações de Silva (2020). Foram utilizados Corpos de Provas (CP) nas dimensões de 25 mm por 25 mm. Cada CP foi

devidamente identificado e posteriormente realizadas as medições de espessura com paquímetro digital (resolução 0,01 mm), em cinco pontos sendo eles um em cada canto externo do CP e um ao meio.

A Equação 8 foi aplicada para o cálculo de densidade.

$$d = \frac{m}{v} \quad (8)$$

Onde, d é a densidade do corpo de prova ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ); m é a massa do corpo de prova (kg); v é o volume do corpo de prova ( $\text{m}^3$ ).

#### 4.7 Umidade do material de embalagem

A análise de umidade do material foi realizada conforme o item 4.1.2.

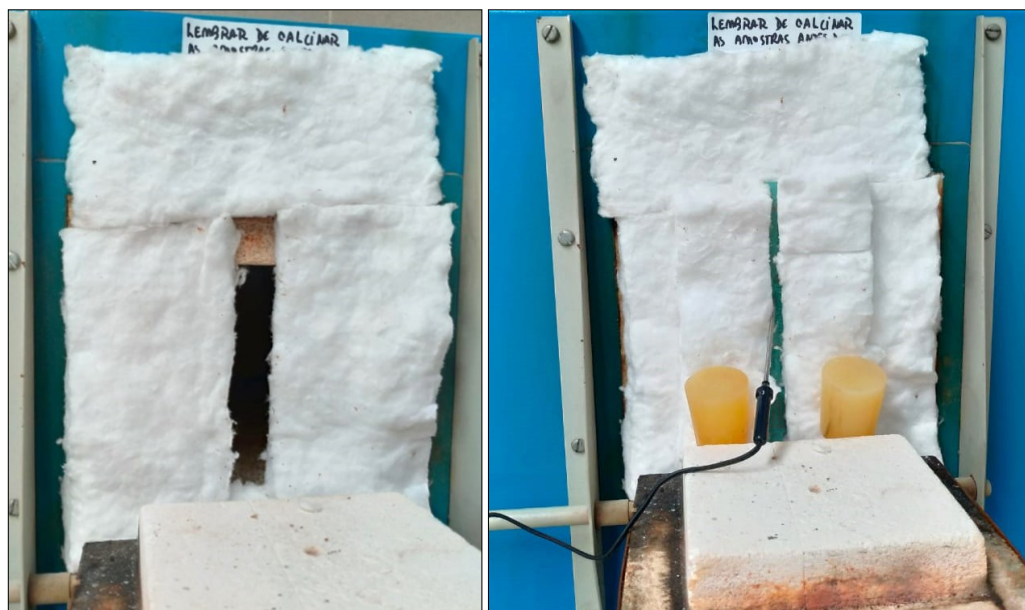
#### 4.5 Condutividade térmica

Para a obtenção da condutividade térmica do material, a amostra foi disposta na abertura da mufla em temperatura de 70 °C. Isoladas as laterais com lã de vidro e aferida a temperatura após 10 minutos da superfície das blendas poliméricas com auxílio de termômetro digital (Novotest.br DT-8820), conforme a Figura 8, e estimado seu valor através da Equação 9.

$$k = q \frac{e}{A \cdot \Delta T} \quad (9)$$

Sendo, k a condutividade térmica do material ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ); q: calor transferido (W); e: espessura da amostra (m); A: área da amostra ( $\text{m}^2$ );  $\Delta T$ : diferença de temperatura entre as faces da superfície da amostra.

**Figura 8:** Ensaio de condutividade térmica em mufla.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Para a obtenção do valor de  $q$  da Equação 9, foi medida a resistência da mufla e a corrente elétrica durante a operação do equipamento e calculada a sua potência real através da Equação 10.

$$P = i.V \quad (10)$$

Sendo,  $P$ : Potência (W);  $i$ : Corrente elétrica (A);  $V$ : Tensão da resistência da mufla (V)

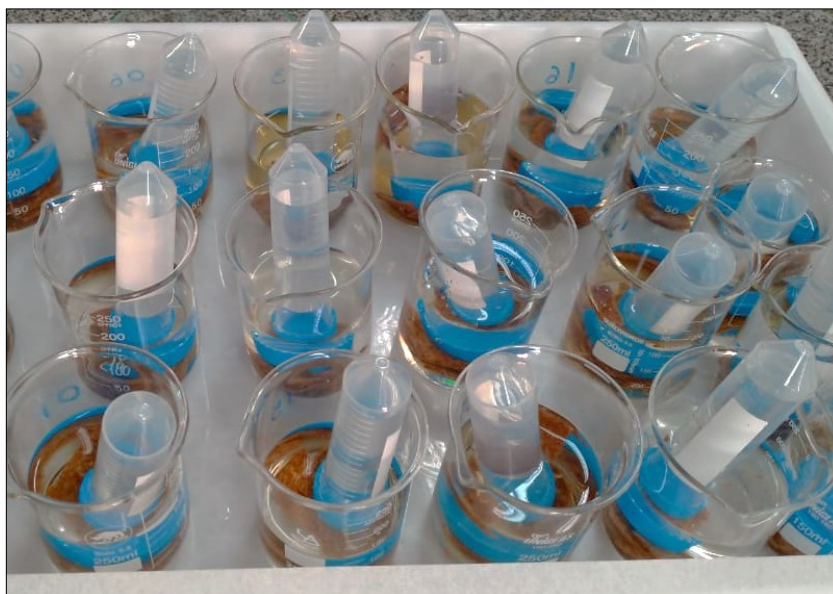
#### 4.6 Absorção em água

Para a determinação da absorção de água foi seguida a metodologia de Silva (2020). Foram utilizados corpos de prova nas dimensões de 50mm por 50mm. Cada CP foi disposta em béquer e mergulhada com 50 milímetros de altura de água, com o auxílio de um peso para garantir a posição inicial, por um período de 24 horas (Figura 9), os corpos de prova foram retirados do recipiente, e dispostos sobre um papel absorvente afim de eliminar o excesso de água e feito o cálculo gravimétrico (Equação 11)

$$A = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \quad (11)$$

Onde, A: Absorção de água (%);  $m_1$ : massa do corpo de prova após a imersão (g);  $m_0$ : massa do corpo de prova antes da imersão (g).

**Figura 9:** Ensaio de absorção em água.



Fonte: Autoria própria, 2021.

#### 4.7 Análise estatística

As superfícies de resposta foram construídas utilizando o software Statistica 10 e a influência dos componentes foi observada através do ajuste linear, análise de variância, coeficientes de regressão e qui-quadrado.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Caracterização do bagaço de malte

Os resultados obtidos para a caracterização do bagaço de malte estão dispostos na Tabela 2.

**Tabela 2:** Composição centesimal do bagaço de malte em base seca.

	(g.100g <sup>-1</sup> BS)
<b>Umidade</b>	21,26 ± 0,5440
<b>Cinzas</b>	3,09 ± 0,2815
<b>Proteínas</b>	24,83 ± 2,3591
<b>Lipídeos</b>	4,72 ± 1,4244
<b>Fibras</b>	39,70 ± 3,6054
<b>Carboidratos</b>	6,40 ± 3,9320

Fonte: Autoria própria, 2019.

O subproduto da indústria cervejeira utilizado no estudo apresentou uma maior proporção de fibras e proteínas. Ivano (2013) encontrou valores de 2,78% de cinzas, 4,44% de lipídeos, 5,34% de umidade, 13,60% de proteínas, 10,00% de carboidratos e 63,84% de fibras. Essa diferença nos valores encontrados nas pesquisas, podem divergir devido à variedade do processo da cerveja em questão, a composição da cevada utilizada, assim como as condições de preparo para a análise.

### 5.3 Extração da celulose

Após os estágios de extração da celulose, foi selecionado para o processo das blendas poliméricas o Bagaço de Malte Deslignificado (BMD) após o estágio I, cujo tratamento de deslignificação apresentou um rendimento de 12,12% em massa do resíduo agroindustrial, enquanto os tratamentos de hidrólise ácida e branqueamento proporcionaram um rendimento de 2,92% e 1,15%, respectivamente (Tabela 3).



**Tabela 3:** Rendimento dos tratamentos de deslignificação, hidrólise ácida e branqueamento ao bagaço de malte.

	<b>Rendimento (%)</b>
<b>Deslignificação</b>	12,12 ± 1,2319
<b>Hidrólise ácida</b>	2,92 ± 1,1058
<b>Branqueamento</b>	1,15 ± 1,3156

Fonte: Autoria própria, 2021

O resíduo agroindustrial, bagaço de malte, apresentou um teor de celulose de 9,60%, e quando submetido ao tratamento de deslignificação (BMD), o teor de celulose alcançou 26,34% em massa (Tabela 4). Steinmacher et al., (2012) encontraram um valor de 11,35% de celulose em seus estudos com o resíduo da indústria cervejeira.

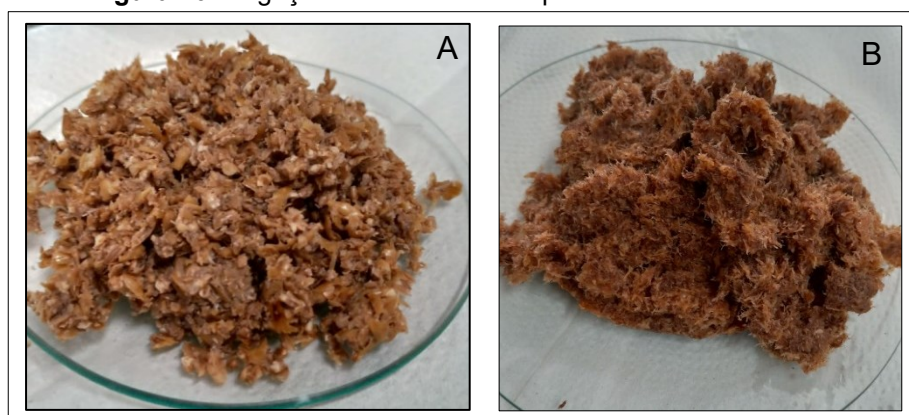
**Tabela 4:** Teor de celulose do bagaço de malte in natura e após tratamento de deslignificação.

	<b><i>In natura</i></b>	<b>BMD</b>
<b>Celulose</b>	9,60 ± 0,9336	26,34 ± 1,6950

Fonte: Autoria própria, 2021

O teor de celulose aumenta no processo de deslignificação devido a degradação e dissolução de 90 a 95% dos fragmentos de lignina presentes no tecido vegetal (MARABEZI, 2014). Na Figura 10, é possível visualizar a diferença no material após o tratamento alcalino.

**Figura 10:** Bagaço de malte antes e após tratamento alcalino.



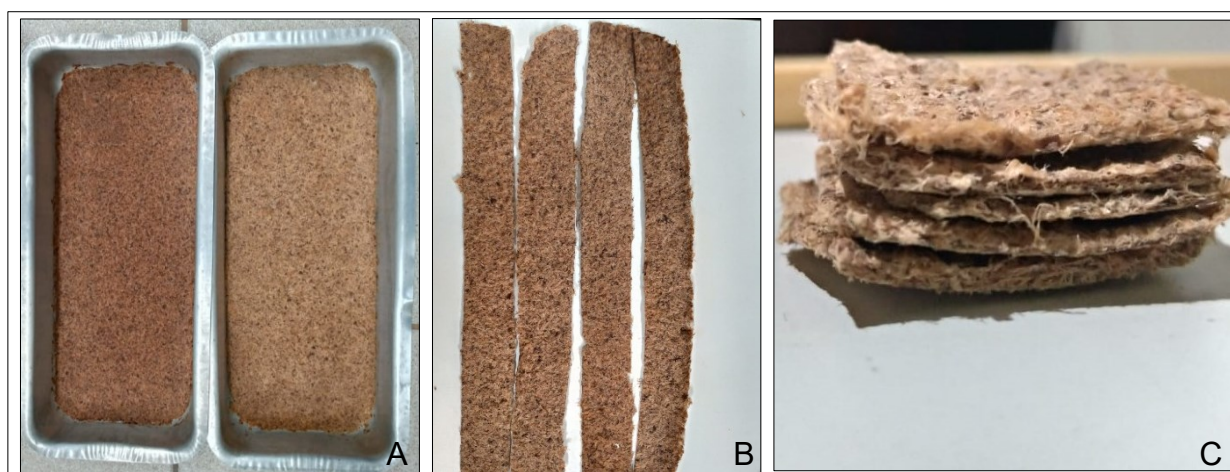
A: Bagaço de malte *in natura*; B: Bagaço de malte deslignificado

Fonte: Autoria própria, 2021.

## 5.4 Obtenção das Blendas Poliméricas

As concentrações de cada componente nos ensaios foram determinadas de acordo com a realização de testes preliminares, nos quais foram determinados os pontos mínimos e máximos de cada variável estudada. Para a formação do material de embalagem foi determinada a quantidade de água total e fixada para o decorrer das análises, cujo valor máximo de cada ensaio foi de 122,70 mL, permitindo a homogeneização da polpa em ensaios com maior massa de BMD. A Figura 11, apresenta as blendas poliméricas reforçadas produzidas após a etapa de secagem, e os corpos de prova para os ensaios de resistência a tração, densidade e absorção em água.

**Figura 11:** Blendas poliméricas com reforço de celulose produzidas.



A: Após a etapa de secagem; B: Corpos de Prova para ensaios de resistência a tração; C: Corpos de prova para densidade e absorção em água

Fonte: Autoria própria, 2021.

As blendas poliméricas reforçadas apresentaram facilidade de formação. No entanto, a desenformagem não se apresentou eficiente, causando algumas rupturas nas laterais do corpo de certas amostras. Sendo necessário a inclusão de prensagem, termoformagem ou moldagem à vácuo para a obtenção de resultados mais efetivos. A secagem direta em estufa de circulação de ar, sem passar por algum dos processos citados anteriormente, provocou a formação de blendas poliméricas sem homogeneidade em sua espessura, e com alguns ensaios com alto teor de umidade, mesmo com a secagem a 60 °C por um período de 15 horas.

Ivano (2013) utilizou a termoformagem com temperatura entre 150 e 160 °C, pressão de 100 bar e tempo de 7 minutos, para a produção de bandejas de amido reforçadas com bagaço de malte. O autor relata que os materiais produzidos ficaram secos, moldados e sem aspecto de queimado após o processamento térmico. Na Tabela 5 estão indicados os resultados para os materiais de embalagem estudados, de acordo com o delineamento proposto, e do Controle para comparação de resultados.

**Tabela 5:** Resultados de umidade, densidade, condutividade térmica, capacidade de absorção em água, resistência a tração e deformação dos materiais de embalagem em diferentes concentrações de BMD, amido, levedura, glicerol e glutaraldeído.

Ensaio	Umidade (%)	Densidade (kg.m <sup>-3</sup> )	Condutividade térmica (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	Absorção em Água (%)	Resistência a Tração (N.mm <sup>-2</sup> )	Deformação
1	25,16 a,b,c,d,e	196,49 a,b,c	0,0423 a,b	385,26 h	0,0065 a	0,0080 a
2	72,99 i,j,k	226,49 a,b,c	0,0434 b	297,46 d,e,f,g	0,0012 a	0,0095 a,b
3	29,18 b,c,d,e	211,76 a,b,c	0,0559 b	283,02 d,e,f,g	0,0018 a	0,0345 b
4	56,97 f,g,h,i	307,31 b,c,d,e	0,0425 a,b	208,90 a,b,c	0,0007 a	0,0119 a,b
5	36,91 c,d,e,f	198,37 a,b,c	0,0452 a,b	333,07 f,g,h	0,0031 a	0,0173 a,b
6	44,10 e,f,g,h	266,57 a,b,c,d	0,0534 b	277,32 c,d,e,f	0,0009 a	0,0182 a,b
7	22,25 a,b,c,d	244,50 a,b,c,d	0,0033 a	238,41 b,c,d	0,0049 a	0,0207 a,b
8	59,66 g,h,i,j	316,66 c,d,e	0,0482 a,b	246,68 b,c,d,e	0,0002 a	0,0058 a
9	25,90 b,c,d,e	187,84 a,b	0,0523 b	353,27 g,h	0,0022 a	0,0160 a,b
10	58,28 g,h,i,j	267,79 a,b,c,d	0,0490 a,b	252,47 b,c,d,e	0,0009 a	0,0076 a
11	18,18 a,b,c	238,95 a,b,c,d	0,0479 a,b	317,74 e,f,g,h	0,0112 a	0,0102 a,b
12	63,57 h,i,j	243,24 a,b,c,d	0,0517 b	159,72 a	0,0011 a	0,0261 a,b
13	16,24 a,b	174,09 a	0,0494 a,b	346,31 f,g,h	0,0052 a	0,0183 a,b
14	77,65 j,k	360,44 d,e	0,0428 a,b	252,31 b,c,d,e	0,0017 a	0,0128 a,b
15	21,85 a,b,c	232,01 a,b,c	0,0373 a,b	252,67 b,c,d,e	0,0061 a	0,0195 a,b
16	98,70 l	290,36 a,b,c,d,e	0,0521 b	187,58 a,b	0,0010 a	0,0076 a
17 (C)	84,75 k,l	258,12 a,b,c,d	0,0486 a,b	192,73 a,b	0,0008 a	0,0179 a,b
18 (C)	67,26 i,j,k	259,25 a,b,c,d	0,0481 a,b	279,86 c,d,e,f,g	0,0024 a	0,0072 a
19 (C)	42,56 d,e,f,g	243,60 a,b,c,d	0,0508 b	238,52 b,c,d	0,0014 a	0,0089 a
Controle	05,18 a	402,55 e	0,0245 a,b	152,09 a	0,3057 b	0,0101 a

Letras iguais indicam médias estatisticamente iguais ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Fonte: Autoria própria, 2021.

Foi utilizado uma embalagem comercial de estojo de ovos em polpa moldada como controle das blendas poliméricas produzidas e comparação de resultados. Essas embalagens são constituídas principalmente de aparas de papéis usados, sendo sua composição predominantemente celulose (ITAL, 2006).

De acordo com a tabela 5 foi visto em um nível de 5% de significância que o teor de umidade dos ensaios 1 (25,16%), 7 (22,25%), 11 (18,18%), 13 (16,24%) e 15

(21,85%) são iguais aos do controle (05,18%). E a resistência a tração das blendas poliméricas demonstrou ser significativamente diferente do mesmo.

Para valores de densidade, os ensaios 4 (307,31 kg.m<sup>-3</sup>), 8 (316,66 kg.m<sup>-3</sup>), 14 (360,44 kg.m<sup>-3</sup>) e 16 (290,36 kg.m<sup>-3</sup>) apresentaram médias iguais à embalagem comercial de ovos. A absorção em água dos ensaios 4 (208,90%), 12 (159,72%), 16 (187,58%) e 17 (192,73%) mostraram médias iguais ( $p \leq 0,05$ ) ao controle (152,09%). E para resultados de condutividade térmica e deformação, foi identificado que os ensaios das blendas poliméricas demonstraram ser significativamente ( $p \leq 0,05$ ) iguais a embalagem comercial, majoritariamente.

## 5.5 Propriedades mecânicas

### 5.5.1 Resistência a tração

De acordo com a análise estatística da estimativa dos efeitos das variáveis para a resistência a tração, o BMD ( $X_1 = 0,0017$ ) apresentou efeito positivo e estatisticamente significativo ( $p \leq 0,05$ ). Enquanto que o glicerol ( $X_4 = -0,0041$ ) e a interação de BMD e glicerol ( $X_1$  by  $X_4 = -0,0019$ ) apresentaram efeito negativo. É importante ressaltar que não há falta de ajuste, uma vez que o valor obtido é de 0,1182 ( $p \geq 0,05$ ). A Tabela 6 mostra os resultados dos efeitos das variáveis e suas significâncias para a resistência à tração dos materiais de embalagem.

**Tabela 6:** Estimativas dos efeitos das variáveis, suas interações e significância ( $p \leq 0,05$ ) para a resistência a tração dos materiais de embalagem.

Variáveis	Efeitos	Coefficiente de regressão	p	-95,% Cnf.Limit	+95,% Cnf.Limit
Interação	0.0028	0.0028	0.0042	0.0020	0.0036
$X_1$	0.0017	0.0009	0.0492	0.0000	0.0034
$X_2$	-0.0003	-0.0002	0.4946	-0.0020	0.0014
$X_3$	0.0007	0.0003	0.2273	-0.0010	0.0024
$X_4$	-0.0041	-0.0021	0.0091	-0.0059	-0.0024
$X_5$	0.0013	0.0006	0.0866	-0.0005	0.0030
$X_1$ by $X_2$	-0.0015	-0.0007	0.0644	-0.0032	0.0002
$X_1$ by $X_3$	0.0004	0.0002	0.4049	-0.0013	0.0021
$X_1$ by $X_4$	-0.0019	-0.0010	0.0405	-0.0036	-0.0002
$X_1$ by $X_5$	0.0001	0.0000	0.8667	-0.0016	0.0018
$X_2$ by $X_3$	-0.0003	-0.0002	0.4906	-0.0021	0.0014
$X_2$ by $X_4$	0.0003	0.0001	0.5487	-0.0014	0.0020

Variáveis	Efeitos	Coefficiente de regressão	p	-95,% Cnf.Limit	+95,% Cnf.Limit
X <sub>2</sub> by X <sub>5</sub>	-0.0001	-0.0000	0.9040	-0.0018	0.0017
X <sub>3</sub> by X <sub>4</sub>	-0.0011	-0.0006	0.1090	-0.0028	0.0006
X <sub>3</sub> by X <sub>5</sub>	0.0017	0.0008	0.0514	-0.0000	0.0034
X <sub>4</sub> by X <sub>5</sub>	-0.0008	-0.0004	0.1697	-0.0026	0.0009

Fonte: Autoria própria, 2021.

A Tabela 7 mostra os resultados da análise de variância (ANOVA) e suas significâncias para a resistência à tração dos materiais de embalagem.

**Tabela 7:** Valores gerados através da análise de variância (ANOVA) para resistência a tração.

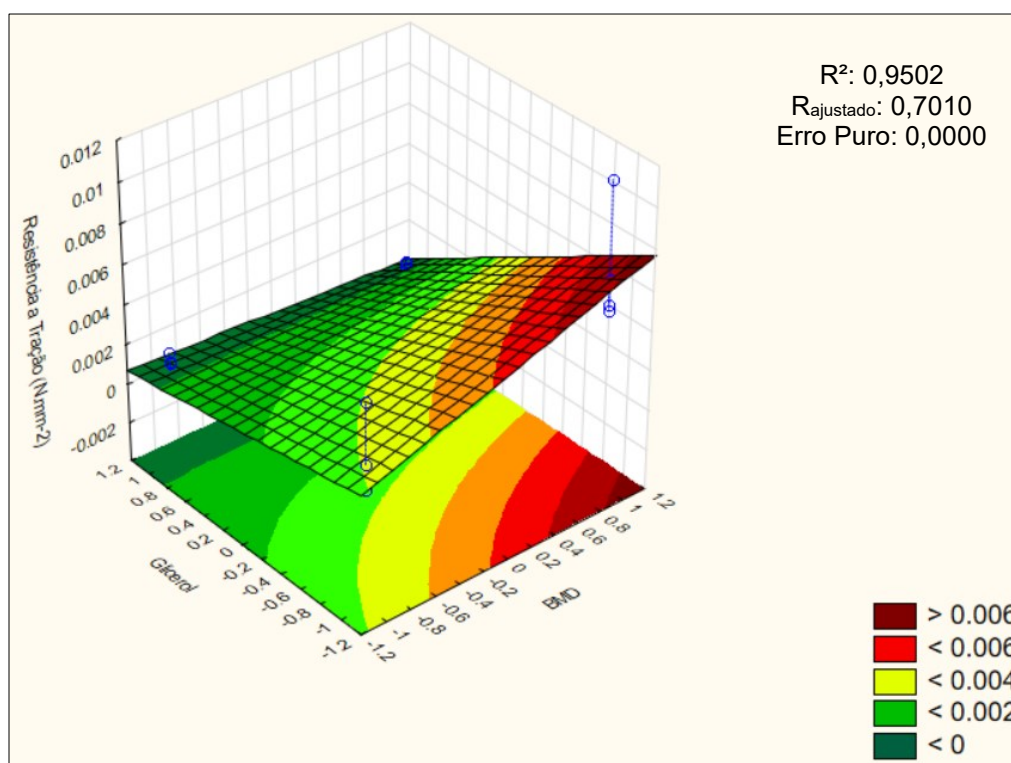
Variável	SS	G.L	QM	F	p
X <sub>1</sub>	0.0000	1	0.0000	18.8434	0.0492
X <sub>2</sub>	0.0000	1	0.0000	0.6860	0.4946
X <sub>3</sub>	0.0000	1	0.0000	2.9628	0.2273
X <sub>4</sub>	0.0001	1	0.0001	107.8074	0.0091
X <sub>5</sub>	0.0000	1	0.0000	10.0753	0.0866
X <sub>1</sub> by X <sub>2</sub>	0.0000	1	0.0000	14.0427	0.0644
X <sub>1</sub> by X <sub>3</sub>	0.0000	1	0.0000	1.0965	0.4049
X <sub>1</sub> by X <sub>4</sub>	0.0000	1	0.0000	23.2252	0.0405
X <sub>1</sub> by X <sub>5</sub>	0.0000	1	0.0000	0.0362	0.8667
X <sub>2</sub> by X <sub>3</sub>	0.0000	1	0.0000	0.7009	0.4906
X <sub>2</sub> by X <sub>4</sub>	0.0000	1	0.0000	0.5116	0.5487
X <sub>2</sub> by X <sub>5</sub>	0.0000	1	0.0000	0.0186	0.9040
X <sub>3</sub> by X <sub>4</sub>	0.0000	1	0.0000	7.7018	0.1090
X <sub>3</sub> by X <sub>5</sub>	0.0000	1	0.0000	17.9664	0.0514
X <sub>4</sub> by X <sub>5</sub>	0.0000	1	0.0000	4.4375	0.1697
Erro	0.0000	3	0.0000	-	-
SS total	0.0001	18	-	-	-
Falta de ajuste	0.0000	1	0.0000	9.0210	0.0953

Soma dos quadrados (SS), grau de liberdade (G.L), quadrado médio (QM), BMD (X<sub>1</sub>), amido de milho (X<sub>2</sub>), levedura (X<sub>3</sub>), glicerol (X<sub>4</sub>) e glutaraldeído (X<sub>5</sub>).

Fonte: Autoria própria, 2021.

Ao analisar os dados estatísticos e o gráfico da Figura 12, pode-se inferir que, à medida que a concentração de glicerol aumenta, ocorre uma diminuição dos valores de resistência à tração dos materiais de embalagem. O que fica evidenciado nos experimentos 02, 04, 06, 08, 10, 12, 14 e 16 que apresentaram os menores valores de RT e valores máximos da matriz experimental, com 0,0012 N.mm<sup>-2</sup>, 0,0007 N.mm<sup>-2</sup>, 0,0009 N.mm<sup>-2</sup>, 0,0002 N.mm<sup>-2</sup>, 0,0009 N.mm<sup>-2</sup>, 0,0011 N.mm<sup>-2</sup>, 0,0017 N.mm<sup>-2</sup> e 0,0010 N.mm<sup>-2</sup>, respectivamente. Ainda, nenhum dos ensaios do experimento se aproximou ao valor encontrado para a amostra comercial de embalagem de caixa de ovos ( $p \leq 0,05$ ), no qual foi obtido um valor de 0,3057 N.mm<sup>-2</sup>.

**Figura 12:** Gráfico de superfície de resposta dos efeitos do Glicerol e BMD na resistência à tração nos materiais de embalagem.



Fonte: Autoria própria, 2021.

O glicerol por ser um plastificante, possui características de provocar maior flexibilidade aos materiais poliméricos e menor fragilidade por diminuir as forças intermoleculares do sistema e aumentar o volume livre dentro das cadeias poliméricas (FILHO, 2020).

No entanto, Teyssandier (2012) tem observado um comportamento atípico para alguns biopolímeros adicionados de plastificantes, tal fenômeno é chamado de anti-plastificação. Esse evento tem o efeito de reduzir o alongamento na ruptura e aumentar a tensão quando o aditivo é adicionado em quantidades pequenas, demandando a aplicação de forças menores para ruptura de materiais. O autor ainda cita que embora os mecanismos que regem o fenômeno da anti-plastificação não sejam bem conhecidos, parecem estar relacionados com a mobilidade local de cadeias macromoleculares. Podendo ser explicado ao presente estudo, a ocorrência de tal fenômeno pela presença da cadeia de celulose existente no BMD.

A Tabela 8 apresenta a equação linear do modelo, coeficiente de correlação ( $R^2$ ), qui-quadrado ( $X^2$ ), os graus de liberdade (G.L) e o p-valor.

**Tabela 8:** Equação do modelo de regressão, coeficiente de correlação ( $R^2$ ), qui-quadrado ( $X^2$ ), graus de liberdade (G.L) para resistência a tração.

Equação linear	$R^2$	$X^2$	G.L	p
$y = 0.0028 + 0.0009X_1 - 0.0021X_4 - 0.0002$	0,9502	0,0028	18	1,000

Fonte: Autoria própria, 2021.

### 5.5.2 Deformação

De acordo com a análise estatística da estimativa dos efeitos das variáveis para a deformação, nenhuma variável se mostrou significativa ( $p \geq 0,05$ ). É importante ressaltar que a falta de ajuste foi de 0,3921 ( $p \geq 0,05$ ), indicando que não é necessário ajuste no modelo (Tabelas 9 e 10).

**Tabela 9:** Estimativas dos efeitos das variáveis, suas interações e significância ( $p \leq 0,05$ ) para a deformação dos materiais de embalagem.

Variáveis	Efeitos	Coeficiente de regressão	p	-95,% Cnf.Limit	+95,% Cnf.Limit
Interação	0.0146	0.0146	0.0017	0.0103	0.0189
X <sub>1</sub>	-0.0049	-0.0024	0.1977	-0.0143	0.0045
X <sub>2</sub>	-0.0005	-0.0002	0.8887	-0.0099	0.0090
X <sub>3</sub>	0.0036	0.0018	0.3132	-0.0058	0.0130
X <sub>4</sub>	-0.0056	-0.0028	0.1532	-0.0150	0.0038
X <sub>5</sub>	-0.0010	-0.0005	0.7632	-0.0104	0.0084
X <sub>1</sub> by X <sub>2</sub>	0.0072	0.0036	0.0922	-0.0022	0.0166
X <sub>1</sub> by X <sub>3</sub>	-0.0040	-0.0020	0.2690	-0.0134	0.0054
X <sub>1</sub> by X <sub>4</sub>	0.0027	0.0013	0.4361	-0.0068	0.0121
X <sub>1</sub> by X <sub>5</sub>	-0.0028	-0.0014	0.4135	-0.0122	0.0066
X <sub>2</sub> by X <sub>3</sub>	-0.0068	-0.0034	0.1042	-0.0162	0.0026
X <sub>2</sub> by X <sub>4</sub>	-0.0022	-0.0011	0.5064	-0.0116	0.0072
X <sub>2</sub> by X <sub>5</sub>	0.0000	0.0000	0.9938	-0.0094	0.0094
X <sub>3</sub> by X <sub>4</sub>	-0.0027	-0.0014	0.4209	-0.0122	0.0067
X <sub>3</sub> by X <sub>5</sub>	-0.0014	-0.0007	0.6681	-0.0108	0.0080
X <sub>4</sub> by X <sub>5</sub>	0.0031	0.0016	0.3648	-0.0063	0.0126

Fonte: Autoria própria, 2021.

**Tabela 10:** Valores gerados através da análise de variância (ANOVA) para deformação.

Variáveis	SS	G.L	QM	F	p
X <sub>1</sub>	0.0001	1	0.0001	2.7192	0.1977
X <sub>2</sub>	0.0000	1	0.0000	0.0232	0.8887
X <sub>3</sub>	0.0001	1	0.0001	1.4623	0.3132
X <sub>4</sub>	0.0001	1	0.0001	3.6202	0.1532
X <sub>5</sub>	0.0000	1	0.0000	0.1088	0.7632
X <sub>1</sub> by X <sub>2</sub>	0.0002	1	0.0002	5.9726	0.0922
X <sub>1</sub> by X <sub>3</sub>	0.0001	1	0.0001	1.8306	0.2690
X <sub>1</sub> by X <sub>4</sub>	0.0000	1	0.0000	0.8035	0.4361
X <sub>1</sub> by X <sub>5</sub>	0.0000	1	0.0000	0.8970	0.4135
X <sub>2</sub> by X <sub>3</sub>	0.0002	1	0.0002	5.3295	0.1042
X <sub>2</sub> by X <sub>4</sub>	0.0000	1	0.0000	0.5664	0.5064
X <sub>2</sub> by X <sub>5</sub>	0.0000	1	0.0000	0.0001	0.9938
X <sub>3</sub> by X <sub>4</sub>	0.0000	1	0.0000	0.8653	0.4209
X <sub>3</sub> by X <sub>5</sub>	0.0000	1	0.0000	0.2243	0.6681
X <sub>4</sub> by X <sub>5</sub>	0.0000	1	0.0000	1.1353	0.3648
Erro	0.0001	3	0.0000		
SS total	0.0010	18	-	-	-
Falta de ajuste	0.0000	1	0.0000	1.1721	0.3921

Soma dos quadrados (SS), grau de liberdade (G.L), quadrado médio (QM), BMD (X<sub>1</sub>), amido de milho (X<sub>2</sub>), levedura (X<sub>3</sub>), glicerol (X<sub>4</sub>) e glutaraldeído (X<sub>5</sub>).

Fonte: Autoria própria, 2021.

Para resultados de deformação, valores mais baixos são preferidos, pois esta compreende as mudanças no corpo através da aplicação de uma força, alterando a geometria de quaisquer segmentos de sua estrutura (HIBBELER, 2010). O ensaio 3 foi o único que apresentou uma deformação significativamente diferente (0,0345) da do controle que demonstrou um valor de 0,0101 para tal.

## 5.6 Densidade

De acordo com a análise estatística da estimativa dos efeitos das variáveis para a densidade, o amido (X<sub>2</sub> = 25,3905), a levedura (X<sub>3</sub> = 25,8409) e o glicerol (X<sub>4</sub> = 74,3571) apresentaram efeito positivo e estatisticamente significativo ( $p \leq 0,05$ ), assim como, as interações de bagaço e levedura (X<sub>1</sub> by X<sub>3</sub> = 18,2043) e amido e glicerol (X<sub>2</sub> by X<sub>4</sub> = 21,9086). Enquanto que as interações do bagaço e amido (X<sub>1</sub> by X<sub>2</sub> = -34,1465), levedura e glicerol (X<sub>3</sub> by X<sub>4</sub> = -16,7684) e levedura e glutaraldeído (X<sub>3</sub> by X<sub>5</sub> = -22,2366) impactaram negativamente e estatisticamente significativo ( $p \leq 0,05$ ). É importante ressaltar que a falta de ajuste foi de 0,3901 ( $p \geq 0,05$ ), indicando que não foi necessário ajuste nos dados (Tabela 11).



**Tabela 11:** Estimativas dos efeitos das variáveis, suas interações e significância ( $p \leq 0,05$ ) para a densidade dos materiais de embalagem.

Variáveis	Efeitos	Coefficiente de regressão	p	-95,% Cnf.Limit	+95,% Cnf.Limit
Interação	248.6232	248.6232	0.0000	242.0577	255.1888
X <sub>1</sub>	1.1560	0.5780	0.8137	-13.1532	15.4653
X <sub>2</sub>	25.3905	12.6953	0.0110	11.0813	39.6998
X <sub>3</sub>	25.8409	12.9204	0.0105	11.5316	40.1501
X <sub>4</sub>	74.3571	37.1785	0.0005	60.0478	88.6663
X <sub>5</sub>	3.3212	1.6606	0.5137	-10.9880	17.6305
X <sub>1</sub> by X <sub>2</sub>	-34.1465	-17.0732	0.0047	-48.4557	-19.8372
X <sub>1</sub> by X <sub>3</sub>	18.2043	9.1021	0.0271	3.8950	32.5135
X <sub>1</sub> by X <sub>4</sub>	-4.8558	-2.4279	0.3592	-19.1651	9.4534
X <sub>1</sub> by X <sub>5</sub>	-14.2406	-7.1203	0.0506	-28.5498	0.0687
X <sub>2</sub> by X <sub>3</sub>	-4.8242	-2.4121	0.3619	-19.1335	9.4851
X <sub>2</sub> by X <sub>4</sub>	21.9086	10.9543	0.0165	7.5993	36.2179
X <sub>2</sub> by X <sub>5</sub>	4.3791	2.1896	0.4019	-9.9301	18.6884
X <sub>3</sub> by X <sub>4</sub>	-16.7684	-8.3842	0.0336	-31.0777	-2.4591
X <sub>3</sub> by X <sub>5</sub>	-22.2366	-11.1183	0.0159	-36.5459	-7.9274
X <sub>4</sub> by X <sub>5</sub>	7.8766	3.9383	0.1781	-6.4327	22.1858

Fonte: Autoria própria, 2021.

A Tabela 12 mostra os resultados da análise de variância (ANOVA) e suas significâncias para a densidade dos materiais de embalagem.

**Tabela 12:** Valores gerados através da análise de variância (ANOVA) para densidade.

Variáveis	SS	G.L	QM	F	p
X <sub>1</sub>	5.35	1	5.35	0.0661	0.8137
X <sub>2</sub>	2578.72	1	2578.72	31.8882	0.0110
X <sub>3</sub>	2671.00	1	2671.00	33.0294	0.0105
X <sub>4</sub>	22115.89	1	22115.89	273.4834	0.0005
X <sub>5</sub>	44.12	1	44.12	0.5456	0.5137
X <sub>1</sub> by X <sub>2</sub>	4663.92	1	4663.92	57.6737	0.0047
X <sub>1</sub> by X <sub>3</sub>	1325.58	1	1325.58	16.3920	0.0271
X <sub>1</sub> by X <sub>4</sub>	94.32	1	94.32	1.1663	0.3592
X <sub>1</sub> by X <sub>5</sub>	811.17	1	811.17	10.0309	0.0506
X <sub>2</sub> by X <sub>3</sub>	93.09	1	93.09	1.1512	0.3619
X <sub>2</sub> by X <sub>4</sub>	1919.95	1	1919.95	23.7419	0.0165
X <sub>2</sub> by X <sub>5</sub>	76.71	1	76.71	0.9486	0.4019
X <sub>3</sub> by X <sub>4</sub>	1124.72	1	1124.72	13.9082	0.0336
X <sub>3</sub> by X <sub>5</sub>	1977.87	1	1977.87	24.4582	0.0159
X <sub>4</sub> by X <sub>5</sub>	248.16	1	248.16	3.0687	0.1781
Erro	242.60	3	80.87	-	-
SS total	39993.17	18	-	-	-
Falta de ajuste	90.25	1	90.25	1.1848	0.3901

Soma dos quadrados (SS), grau de liberdade (G.L), quadrado médio (QM), BMD (X<sub>1</sub>), amido de milho (X<sub>2</sub>), levedura (X<sub>3</sub>), glicerol (X<sub>4</sub>) e glutaraldeído (X<sub>5</sub>).

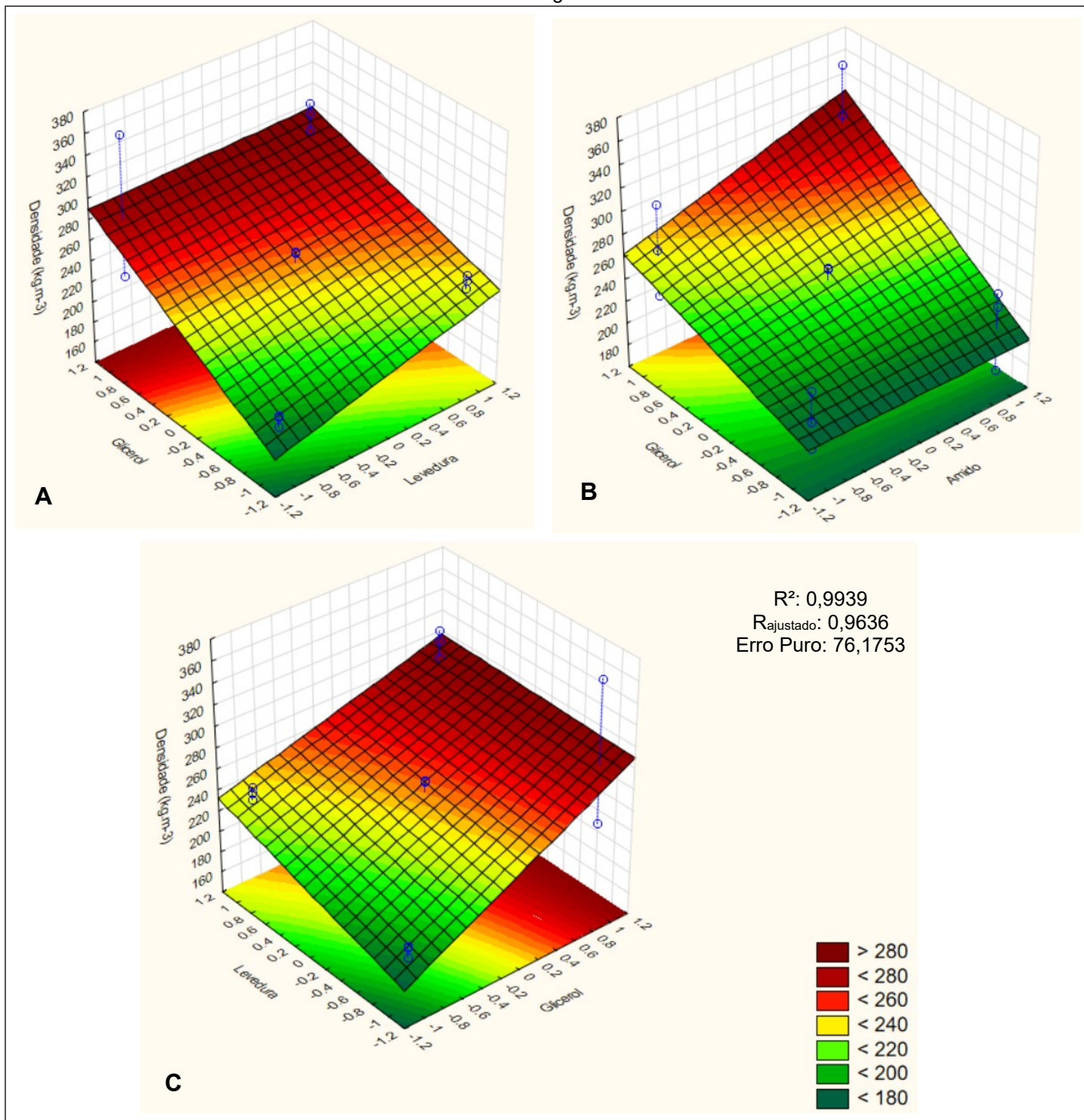
Fonte: Autoria própria, 2021.

Ao analisar os dados do ANOVA, os efeitos e os gráficos das Figura 13 e 14, pode-se inferir que a densidade aumenta à medida que as concentrações de amido, glicerol e levedura se elevam, e concentrações de BMD e glutaraldeído diminuem. O que fica evidenciado nos experimentos 14, 08, 04 e 16 que em sua maioria apresentaram valores máximos da matriz experimental para amido, glicerol e levedura. Tais ensaios foram obtidos valores de  $360,4358 \text{ kg.m}^{-3}$ ,  $316,6623 \text{ kg.m}^{-3}$ ,  $307,3115 \text{ kg.m}^{-3}$ ,  $290,3606 \text{ kg.m}^{-3}$ , respectivamente. Já para o controle, foi encontrado um valor de  $402,5466 \text{ kg.m}^{-3}$ , valor próximo ao encontrado por Ivano (2013) que em seu estudo com embalagens de amido com adição de bagaço de malte obteve uma variância de 415 a  $460 \text{ kg.m}^{-3}$ .

A interação de levedura residual e glutaraldeído foi negativa, provocando resultados mais elevados de densidade quando o glutaraldeído estava em seu valor mínimo na matriz experimental.

De acordo com Kubaski e Ito (2017), a densidade é importante para uma embalagem, pois um valor alto de densidade demonstra que existem poucos e pequenos vazios na estrutura do material, o que confere uma embalagem mais resistente ao impacto. Dessa forma, aumentando a concentração de amido, glicerol e levedura, parte dos espaços vazios são preenchidos através das ligações intermoleculares das substâncias. O amido, por sua vez contribui com o inchamento dos grãos através de sua gelatinização e a incorporação destes na estrutura da embalagem. Concomitante, o glicerol favorece ligações intra e intermoleculares (PAGLIARO, 2017). Já a levedura residual tem sua participação através de ligações iônicas, visto que essa apresenta ser um complexo de proteínas. Em estudos de Bekatorou, Psarianos e Koutinas (2006), células de leveduras apresentam um teor de proteínas que varia de 32 a 64 %.

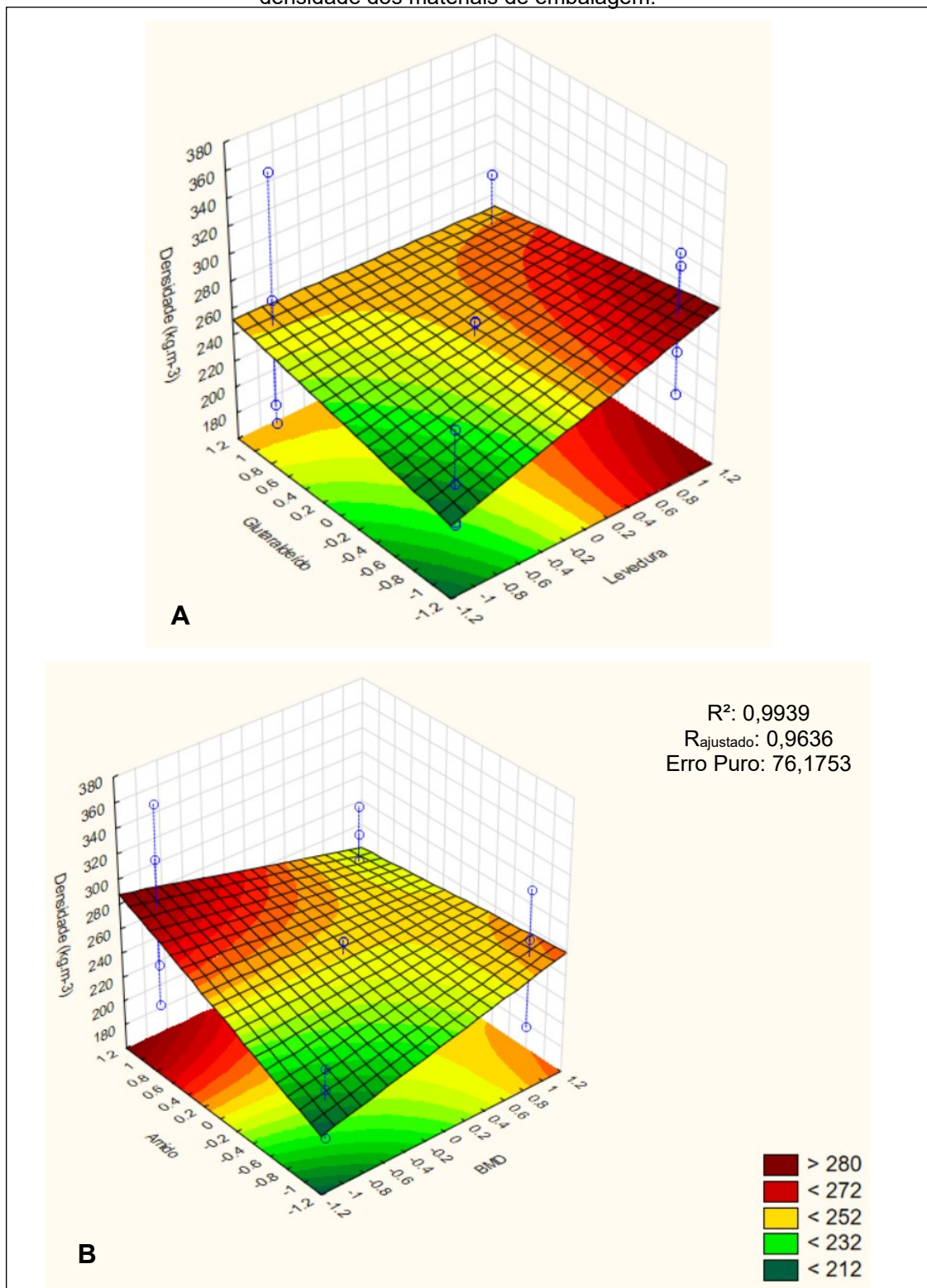
**Figura 13:** Gráficos de superfície de resposta do efeito do glicerol na densidade dos materiais de embalagem.



A: Levedura, Glicerol; B: Amido, Glicerol; C: Glicerol, Levedura.

Fonte: Autoria própria, 2021.

**Figura 14:** Gráficos de superfície de resposta dos efeitos do amido, BMD, glutaraldeído e levedura na densidade dos materiais de embalagem.



A: Levedura, Glutaraldeído; B: BMD, Amido.

Fonte: Autoria própria, 2021.

A Tabela 13 apresenta a equação linear do modelo, coeficiente de correlação ( $R^2$ ), qui-quadrado ( $X^2$ ), os graus de liberdade (G.L) e o p-valor.

**Tabela 13:** Equação do modelo de regressão, coeficiente de correlação ( $R^2$ ), qui-quadrado ( $X^2$ ), graus de liberdade (G.L) para densidade.

Variável	Equação linear	$R^2$	$X^2$	G.L	p
Densidade	$y = 248.6232 + 12.6953X_2 + 12.9204X_3 + 37.1785X_4 - 17.0732X_1X_2 + +9.1021X_1X_3 + 10.9543X_2X_4 - 8,3842X_3X_4 - 11.1183X_3X_5$	0,9939	0,0012	18	1,000

Fonte: Autoria própria, 2021.

## 5.7 Umidade

De acordo com a análise estatística da estimativa dos efeitos das variáveis para a umidade nenhuma variável se apresentou estatisticamente significativa ( $p \leq 0,05$ ). É importante ressaltar que a falta de ajuste foi de 0,2834 ( $p \geq 0,05$ ), indicando que não foi necessário ajuste no experimento (Tabela 14 e 15).

**Tabela 14:** Estimativas dos efeitos das variáveis, suas interações e significância ( $p \leq 0,05$ ) para a umidade dos materiais de embalagem.

Variáveis	Efeitos	Coefficiente de regressão	p	-95,% Cnf.Limit	+95,% Cnf.Limit
Interação	48.5351	48.5351	0.0099	27.6111	69.4592
X <sub>1</sub>	-5.9771	-2.9886	0.6296	-51.5800	39.6258
X <sub>2</sub>	3.3915	1.6957	0.7793	-42.2114	48.9944
X <sub>3</sub>	1.6391	0.8195	0.8913	-43.9638	47.2420
X <sub>4</sub>	42.0314	21.0157	0.0581	-3.5715	87.6343
X <sub>5</sub>	4.1417	2.0708	0.7337	-41.4612	49.7446
X <sub>1</sub> by X <sub>2</sub>	2.2840	1.1420	0.8494	-43.3189	47.8869
X <sub>1</sub> by X <sub>3</sub>	11.4379	5.7189	0.3934	-34.1650	57.0408
X <sub>1</sub> by X <sub>4</sub>	2.0253	1.0126	0.8661	-43.5776	47.6282
X <sub>1</sub> by X <sub>5</sub>	6.5892	3.2946	0.5976	-39.0137	52.1921
X <sub>2</sub> by X <sub>3</sub>	5.2500	2.6250	0.6694	-40.3529	50.8529
X <sub>2</sub> by X <sub>4</sub>	3.6857	1.8428	0.7612	-41.9172	49.2886
X <sub>2</sub> by X <sub>5</sub>	8.7373	4.3686	0.4964	-36.8656	54.3402
X <sub>3</sub> by X <sub>4</sub>	4.8292	2.4146	0.6933	-40.7737	50.4321
X <sub>3</sub> by X <sub>5</sub>	4.4174	2.2087	0.7173	-41.1855	50.0203
X <sub>4</sub> by X <sub>5</sub>	11.9785	5.9892	0.3757	-33.6244	57.5814

Fonte: Autoria própria, 2021.

**Tabela 15:** Valores gerados através da análise de variância (ANOVA) para umidade.

Variáveis	SS	G.L	QM	F	p
X <sub>1</sub>	142.90	1	142.9047	0.3180	0.6296
X <sub>2</sub>	46.01	1	46.0081	0.1024	0.7793
X <sub>3</sub>	10.75	1	10.7464	0.0239	0.8913
X <sub>4</sub>	7066.56	1	7066.5585	15.7266	0.0581
X <sub>5</sub>	68.61	1	68.6143	0.1527	0.7337
X <sub>1</sub> by X <sub>2</sub>	20.87	1	20.8669	0.0464	0.8494
X <sub>1</sub> by X <sub>3</sub>	523.30	1	523.3011	1.1646	0.3934
X <sub>1</sub> by X <sub>4</sub>	16.41	1	16.4068	0.0365	0.8661
X <sub>1</sub> by X <sub>5</sub>	173.67	1	173.6696	0.3865	0.5976
X <sub>2</sub> by X <sub>3</sub>	110.25	1	110.2495	0.2454	0.6694
X <sub>2</sub> by X <sub>4</sub>	54.34	1	54.3364	0.1209	0.7612
X <sub>2</sub> by X <sub>5</sub>	305.36	1	305.3608	0.6796	0.4964
X <sub>3</sub> by X <sub>4</sub>	93.28	1	93.2842	0.2076	0.6933
X <sub>3</sub> by X <sub>5</sub>	78.05	1	78.0541	0.1737	0.7173
X <sub>4</sub> by X <sub>5</sub>	573.94	1	573.9367	1.2773	0.3757
Erro	1848.01	3	949.335	-	-
SS total	11132.31	18	-	-	-
Falta de ajuste	949.34	1	949.335	2.11275	0.2834

Soma dos quadrados (SS), grau de liberdade (G.L), quadrado médio (QM), BMD (X<sub>1</sub>), amido de milho (X<sub>2</sub>), levedura (X<sub>3</sub>), glicerol (X<sub>4</sub>) e glutaraldeído (X<sub>5</sub>).

Fonte: Autoria própria, 2021.

A umidade não apresentou bons resultados para os ensaios produzidos, resultando em uma variação de 16,24% a 98,70% de umidade. Estando o mais próximo ao resultado da amostra comercial (5,18%), os ensaios 13 e 11, com valores de 16,24% e 18,18%, respectivamente. Vale ressaltar, que a quantidade de água foi fixada para todos os ensaios do delineamento experimental.

De acordo com Twede e Goddard (2010), embalagens em geral, não devem se apresentar úmidas, pois devem possuir propriedades de barreira à água para acondicionamento de alimentos, evitando a transferência de massa da embalagem para o produto, e conseqüentemente a sua deterioração e oxidação. Dessa forma, a água tem que ser extraída de forma progressiva da pasta fluida inicial da blenda polimérica para somente 4-6% de umidade remanescente.

## 5.8 Condutividade térmica

De acordo com a análise estatística da estimativa dos efeitos das variáveis para a condutividade térmica, o amido (X<sub>2</sub> = -0,0067) apresentou efeito negativo e estatisticamente significativo ( $p \leq 0,05$ ), assim como, as interações de bagaço e levedura (X<sub>1</sub> by X<sub>3</sub> = -0,0072) e amido e glicerol (X<sub>2</sub> by X<sub>3</sub> = -0,0076). Enquanto as interações do bagaço e glicerol (X<sub>1</sub> by X<sub>4</sub> = 0,0073), bagaço e glutaraldeído (X<sub>1</sub> by X<sub>5</sub>

= 0,0082) e amido e glicerol ( $X_2$  by  $X_4 = -22,2366$ ) impactaram positivamente e estatisticamente significativo ( $p \leq 0,05$ ).

É importante ressaltar a falta de ajuste significativa ( $p \leq 0,05$ ) de 0,0402, indicando que seria necessário, modificar os níveis e/ou variáveis independentes para se obter uma melhor condição para a condutividade térmica das blendas poliméricas. A Tabela 16 mostra os resultados dos efeitos das variáveis e suas significâncias para a condutividade térmica dos materiais de embalagem.

**Tabela 16:** Estimativas dos efeitos das variáveis, suas interações e significância ( $p \leq 0,05$ ) para a condutividade térmica dos materiais de embalagem.

Variáveis	Efeitos	Coefficiente de regressão	P	-95,% Cnf.Limit	+95,% Cnf.Limit
Interação	0.0455	0.0455	0.0000	0.0424	0.0485
$X_1$	-0.0046	-0.0023	0.1145	-0.0113	0.0020
$X_2$	-0.0067	-0.0033	0.0498	-0.0133	-0.0000
$X_3$	-0.0049	-0.0024	0.1025	-0.0115	0.0018
$X_4$	0.0062	0.0031	0.0595	-0.0005	0.0128
$X_5$	0.0060	0.0030	0.0631	-0.0006	0.0127
$X_1$ by $X_2$	0.0008	0.0004	0.7314	-0.0059	0.0074
$X_1$ by $X_3$	-0.0072	-0.0036	0.0409	-0.0139	-0.0006
$X_1$ by $X_4$	0.0073	0.0037	0.0392	0.0007	0.0140
$X_1$ by $X_5$	0.0082	0.0041	0.0296	0.0015	0.0148
$X_2$ by $X_3$	-0.0076	-0.0038	0.0357	-0.0143	-0.0010
$X_2$ by $X_4$	0.0091	0.0046	0.0221	0.0025	0.0158
$X_2$ by $X_5$	0.0018	0.0009	0.4441	-0.0048	0.0085
$X_3$ by $X_4$	0.0063	0.0032	0.0562	-0.0003	0.0130
$X_3$ by $X_5$	0.0037	0.0019	0.1717	-0.0029	0.0104
$X_4$ by $X_5$	-0.0040	-0.0020	0.1507	-0.0107	0.0026

Fonte: Autoria própria, 2021.

A Tabela 17 apresenta os resultados da análise de variância (ANOVA) e suas significâncias para a condutividade térmica dos materiais de embalagem.

**Tabela 17:** Valores gerados através da análise de variância (ANOVA) para condutividade térmica.

Variáveis	SS	G.L	QM	F	P
$X_1$	0.0001	1	0.0001	4.8688	0.1145
$X_2$	0.0002	1	0.0002	10.1584	0.0498
$X_3$	0.0001	1	0.0001	5.4109	0.1025
$X_4$	0.0002	1	0.0002	8.7616	0.0595
$X_5$	0.0001	1	0.0001	8.3419	0.0631
$X_1$ by $X_2$	0.0000	1	0.0000	0.1419	0.7314
$X_1$ by $X_3$	0.0002	1	0.0002	11.9049	0.0409
$X_1$ by $X_4$	0.0002	1	0.0002	12.3211	0.0392
$X_1$ by $X_5$	0.0003	1	0.0003	15.3411	0.0296

<b>Variáveis</b>	<b>SS</b>	<b>G.L</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
X <sub>2</sub> by X <sub>3</sub>	0.0002	1	0.0002	13.2619	0.0357
X <sub>2</sub> by X <sub>4</sub>	0.0003	1	0.0003	19.1077	0.0221
X <sub>2</sub> by X <sub>5</sub>	0.0000	1	0.0000	0.7727	0.4441
X <sub>3</sub> by X <sub>4</sub>	0.0002	1	0.0002	9.1915	0.0562
X <sub>3</sub> by X <sub>5</sub>	0.0001	1	0.0001	3.1968	0.1717
X <sub>4</sub> by X <sub>5</sub>	0.0001	1	0.0001	3.6845	0.1507
Erro	0.0001	3	0.0000		
SS total	0.0023	18			
Falta de ajuste	0.0000	1	0.0000	23.4132	0.0402

Soma dos quadrados (SS), grau de liberdade (G.L), quadrado médio (QM), BMD (X<sub>1</sub>), amido de milho (X<sub>2</sub>), levedura (X<sub>3</sub>), glicerol (X<sub>4</sub>) e glutaraldeído (X<sub>5</sub>).

Fonte: Autoria própria, 2021.

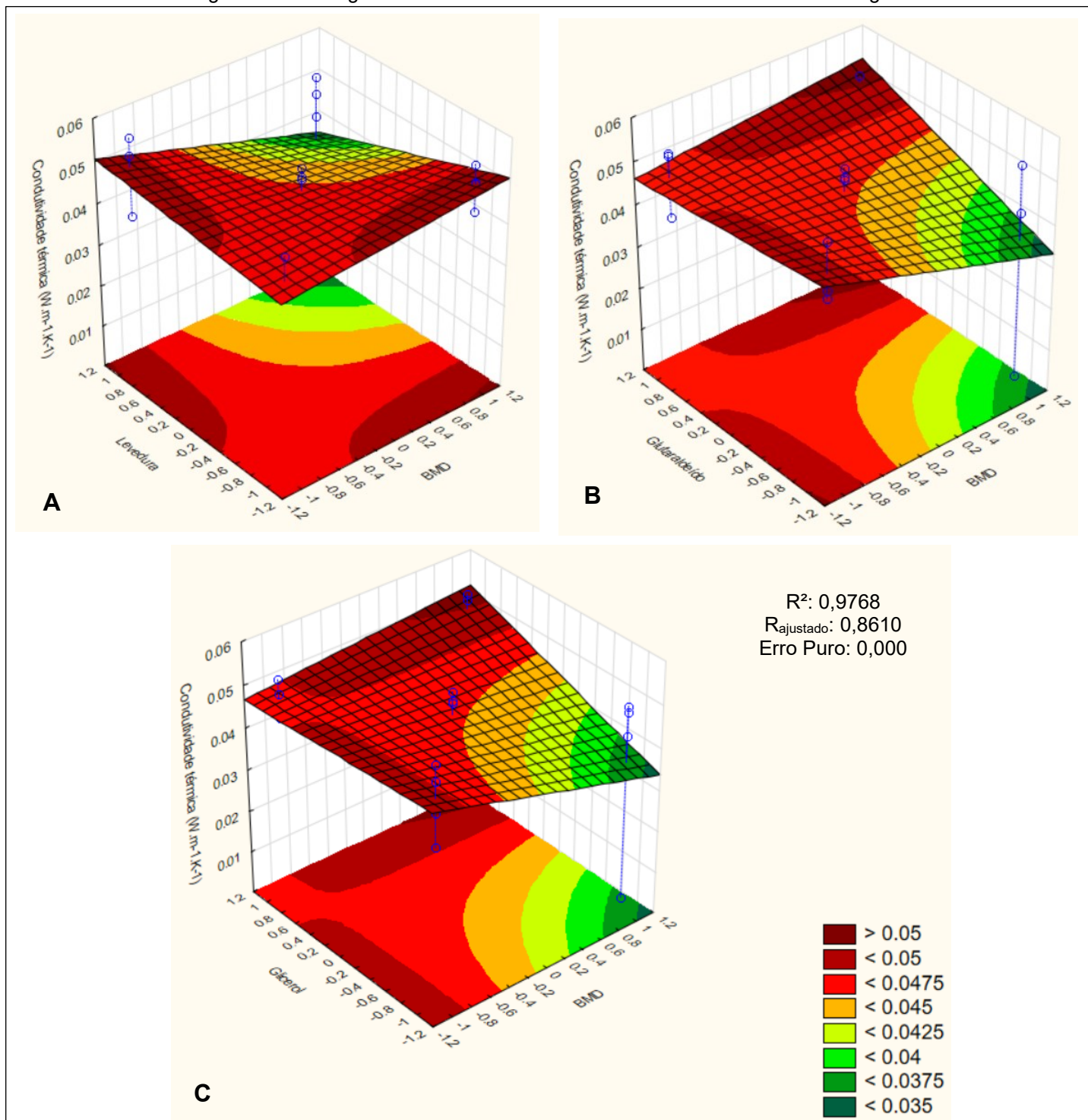
Ao analisar os dados do ANOVA e os gráficos das Figura 15 e 16, pode-se inferir que a condutividade térmica diminui, de acordo com o aumento da concentração de amido, BMD e levedura, e com a diminuição dos componentes glicerol e glutaraldeído. O que fica evidenciado no experimento 07 que possui valores máximos para X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> e X<sub>3</sub>, e valores mínimos para X<sub>4</sub> e X<sub>5</sub> na matriz experimental.

Ao que se diz respeito a condutividade térmica, valores mais baixos são preferidos para o material de embalagem, pois esta grandeza física determina a capacidade do material de transferir calor por uma espessura desde que haja diferença de temperaturas (ÇENGEL, 2012) (CALLISTER; RETHWISCH, 2020).

Apesar de a metodologia utilizada não ser uma análise precisa, esta proporcionou resultados aproximados dos encontrados na literatura. Isolamento de celulose (pasta de papel ou polpa de madeira) apresentam 0,039 – 0,045 W/m.K de condutividade térmica (ÇENGEL, 2012). Valores que se equiparam ao material produzido cujo resultados variaram de 0,0033 a 0,0559 W/m.K, garantindo assim a capacidade de isolamento térmico do material.



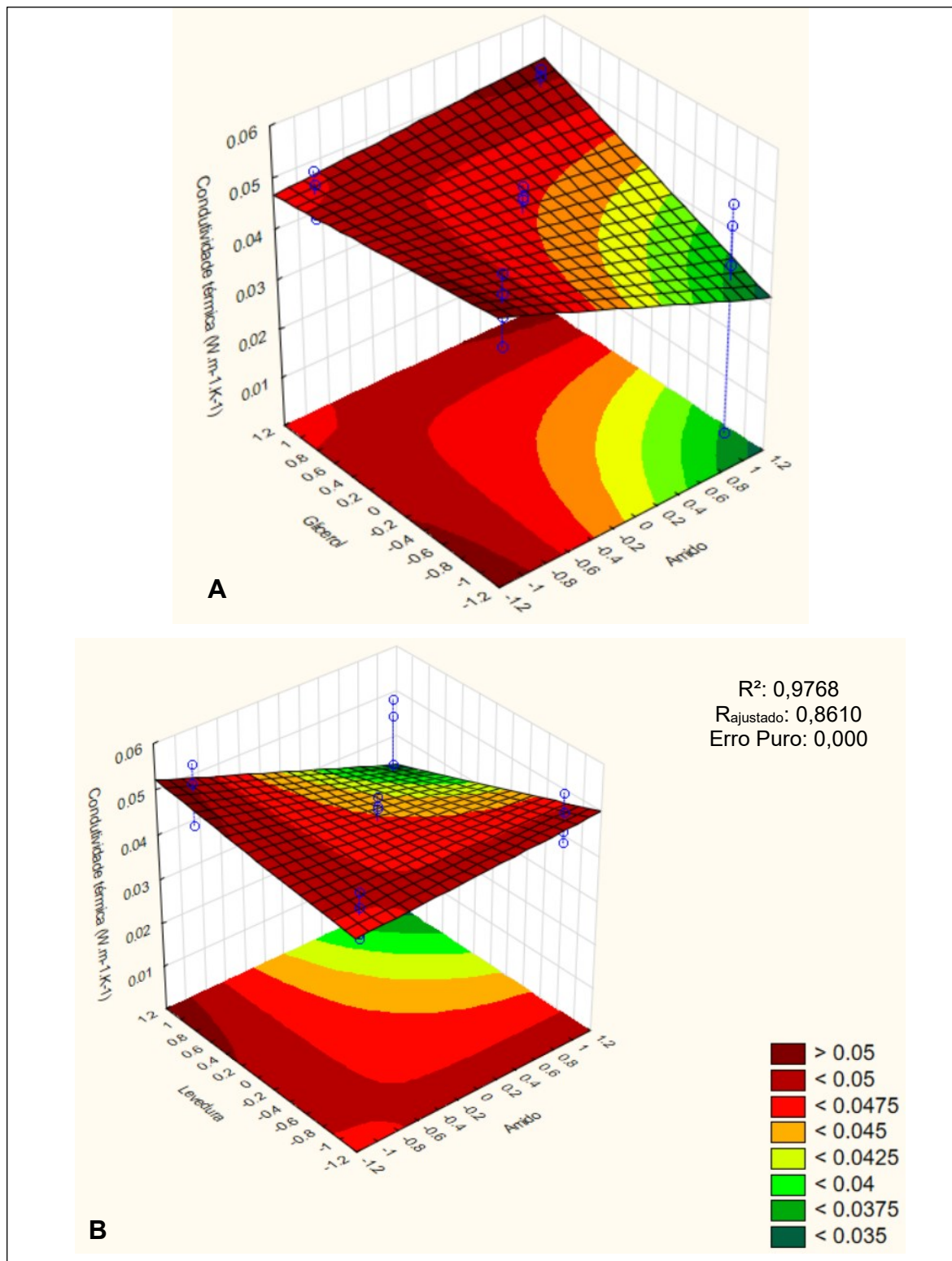
**Figura 15:** Gráficos de superfície de resposta do efeito da interação do BMD com levedura, glutaraldeído e glicerol na condutividade térmica dos materiais de embalagem.



A: BMD, Levedura; B: BMD, glutaraldeído; C: BMD, glicerol

Fonte: Autoria própria, 2021

**Figura 16:** Gráficos de superfície de resposta do efeito da interação do amido com glicerol e levedura na condutividade térmica dos materiais de embalagem.



A: Amido, Glicerol; B: Amido, levedura

Fonte: Autoria própria, 2021

A Tabela 18 apresenta a equação linear do modelo, coeficiente de correlação ( $R^2$ ), qui-quadrado ( $X^2$ ), os graus de liberdade (G.L) e o p-valor para análise de condutividade térmica.

**Tabela 18:** Equação do modelo de regressão, coeficiente de correlação ( $R^2$ ), qui-quadrado ( $X^2$ ), graus de liberdade (G.L) para condutividade térmica.

Variáveis	Equação linear	$R^2$	$X^2$	G.L	p
Condutividade térmica	$y = 0.0455 - 0.0033x_2 - 0.0036x_1x_3 + 0.0037x_1x_4 + 0.0041x_1x_5 - 0.0038x_2x_3 + 0.0046x_2x_4 + 0.0032x_3x_4 + 0.0019x_3x_5 - 0.0020x_4x_5$	0,9768	0,0012	18	1,000

Fonte: Autoria própria, 2021.

## 5.9 Absorção em água

De acordo com a análise estatística da estimativa dos efeitos das variáveis para a absorção em água, nenhuma variável se mostrou significativa ( $p \geq 0,05$ ). É importante ressaltar que a falta de ajuste foi de 0,3051 ( $p \geq 0,05$ ), não significativa (Tabela 19 e 20).

**Tabela 19:** Estimativas dos efeitos das variáveis, suas interações e significância ( $p \leq 0,05$ ) para a absorção em água dos materiais de embalagem.

Variáveis	Efeitos	Coefficiente de regressão	p	-95,% Cnf.Limit	+95,% Cnf.Limit
Interação	268.5935	268.5935	0.0002	232.4632	304.7237
X <sub>1</sub>	4.4741	2.2370	0.8680	-74.2700	83.2181
X <sub>2</sub>	-15.4357	-7.7179	0.5770	-94.1798	63.3084
X <sub>3</sub>	-75.3443	-37.6722	0.0556	-154.0884	3.3998
X <sub>4</sub>	-78.4131	-39.2065	0.0505	-157.1572	0.3310
X <sub>5</sub>	-18.5057	-9.2528	0.5088	-97.2498	60.2384
X <sub>1</sub> by X <sub>2</sub>	-13.2491	-6.6245	0.6295	-91.9931	65.4950
X <sub>1</sub> by X <sub>3</sub>	-1.8391	-0.9195	0.9454	-80.5831	76.9050
X <sub>1</sub> by X <sub>4</sub>	-11.9505	-5.9752	0.6622	-90.6946	66.7936
X <sub>1</sub> by X <sub>5</sub>	17.0602	8.5301	0.5401	-61.6839	95.8043
X <sub>2</sub> by X <sub>3</sub>	4.4278	2.2139	0.8694	-74.3163	83.1719
X <sub>2</sub> by X <sub>4</sub>	26.7714	13.3857	0.3585	-51.9727	105.5155
X <sub>2</sub> by X <sub>5</sub>	4.3545	2.1773	0.8715	-74.3896	83.0986
X <sub>3</sub> by X <sub>4</sub>	6.1741	3.0870	0.8191	-72.5700	84.9181
X <sub>3</sub> by X <sub>5</sub>	3.6812	1.8406	0.8912	-75.0629	82.4253
X <sub>4</sub> by X <sub>5</sub>	-26.0657	-13.0329	0.3695	-104.8098	52.6784

Fonte: Autoria própria, 2021.

**Tabela 20:** Valores gerados através da análise de variância (ANOVA) para absorção em água.

Variável	SS	G.L	QM	F	p
X <sub>1</sub>	80.07	1	80.07	0.0327	0.8680
X <sub>2</sub>	953.05	1	953.05	0.3892	0.5770
X <sub>3</sub>	22707.07	1	22707.07	9.2723	0.0556
X <sub>4</sub>	24594.46	1	24594.46	10.0430	0.0505
X <sub>5</sub>	1369.84	1	1369.84	0.5594	0.5088
X <sub>1</sub> by X <sub>2</sub>	702.15	1	702.15	0.2867	0.6295
X <sub>1</sub> by X <sub>3</sub>	13.53	1	13.53	0.0055	0.9454
X <sub>1</sub> by X <sub>4</sub>	571.26	1	571.26	0.2333	0.6622
X <sub>1</sub> by X <sub>5</sub>	1164.20	1	1164.20	0.4754	0.5401
X <sub>2</sub> by X <sub>3</sub>	78.42	1	78.42	0.0320	0.8694
X <sub>2</sub> by X <sub>4</sub>	2866.83	1	2866.83	1.1707	0.3585
X <sub>2</sub> by X <sub>5</sub>	75.85	1	75.85	0.0310	0.8715
X <sub>3</sub> by X <sub>4</sub>	152.48	1	152.48	0.0623	0.8191
X <sub>3</sub> by X <sub>5</sub>	54.20	1	54.20	0.0221	0.8912
X <sub>4</sub> by X <sub>5</sub>	2717.68	1	2717.68	1.1097	0.3695
Erro	7346.75	3	2448.92	-	-
SS total	65447.82	18	-	-	-
Falta de ajuste	3548.12	1	3548.12	1.8681	0.3051

Soma dos quadrados (SS), grau de liberdade (G.L), quadrado médio (QM), BMD (X<sub>1</sub>), amido de milho (X<sub>2</sub>), levedura (X<sub>3</sub>), glicerol (X<sub>4</sub>) e glutaraldeído (X<sub>5</sub>).

Fonte: Autoria própria, 2021.

O resultado de absorção em água que mais se aproximou da amostra comercial (152,09%) foram os ensaios 12, 16 e 17 cujo os valores foram de 159,72%, 187,58% e 192,73% respectivamente. Ainda foi observado que amostras que possuíam um teor de umidade menor, absorveram uma maior quantidade de água no período de 24 horas, como exposto nos experimentos 11 e 13, que possuem umidade de 18,18% e 16,24% e absorção em água de 317,74% e 346,31%, respectivamente.

Ivano (2013) ao produzir bandejas de amido e bagaço de malte, obteve valores de 159,21% a 212,34% de capacidade de absorção em água após 30 minutos, evidenciando resultados próximos com o do presente estudo que variou de 159,72% a 385,26% de absorção de água por um período de 24 horas em imersão. O autor ainda cita que o comportamento dos materiais pode ser atribuído à expansão do mesmo durante o processamento.

Callister e Rethwisch (2020), afirmam que alguns polímeros, tais como o náilon e a celulose, são suscetíveis à absorção de água, devido as hidroxilas presentes em sua estrutura, facilitando a interação entre moléculas de água, o que produz uma redução em sua dureza e rigidez.

Vale constatar que para as análises de superfície de respostas em um nível de significância de 5% ( $k = 1$ ;  $n_c = 3$ ) o valor F de Fisher-Snedecor (Anexo A) é de 18,513. Dessa forma, não foi possível calcular a condição ótima das variáveis

significativas das análises que obtiveram interações, pois há indicativos de que essas relações provocaram uma curvatura no sistema ( $F_0 > F_{0,05, 1, 3}$ ), sendo necessário a construção de um modelo de ordem superior. De acordo com Galdámez (2002), a hipótese nula é rejeitada quando  $F_0 > F_{\alpha, k, (nc-1)}$ . E um planejamento experimental deve conter pelo menos 3 níveis para cada variável para a construção de modelo de segunda ordem, não sendo possível a transformação de dados para modelo quadrático (GALDÁMEZ, 2002 apud: MONTGOMERY, 1991).

## 6 CONCLUSÕES

O bagaço de malte provindo da microcervejaria utilizado no estudo apresentou uma composição centesimal de 39,70% fibras, 24,83% proteínas, 21,26% umidade, 6,40% carboidratos, 4,72% lipídeos e 3,09% cinzas em base seca do material. O mesmo apresentou um teor de celulose de 9,40%.

Foi possível desenvolver um material de embalagem a partir do bagaço de malte com adição de diferentes proporções de levedura residual, amido de milho, glicerol e glutaraldeído. Contudo, o glutaraldeído não apresentou um comportamento significativo positivo para os resultados.

O material produzido pode ser considerado isolante térmico, por possuir uma condutividade térmica com variância de 0,0033 a 0,0559  $W.m^{-1}.K^{-1}$  em todos os seus ensaios. Contudo a análise não foi significativa devido à falta de ajuste, sendo necessário a construção de um novo delineamento com outros níveis e/ou fatores independentes.

Quanto a resistência a tração, a eficácia não fora constatada, visto que é necessário a aplicação de pequenas forças para que ocorra a ruptura do material. Para o delineamento proposto os ensaios 11 e 13 apresentaram melhores resultados sobre os demais experimentos, por possuírem uma maior resistência a tração de 0,0112  $N.mm^{-2}$  e 0,0052  $N.mm^{-2}$  e umidade relativamente baixa de 18,17 e 16,24%, respectivamente. Tais ensaios apresentaram valores de densidade de 238,95 e 174,19  $kg.m^{-3}$ , condutividade térmica de 0,0479 e 0,0494  $W.m^{-1}.K^{-1}$ , absorção em água de 317,74 e 346,31% e deformação de 0,0102 e 0,0183.

No entanto, quando comparado com a amostra comercial de polpa moldada, utilizada para embalar ovos, as blendas poliméricas produzidos não se apresentaram viáveis de aplicação, principalmente, devido à baixa resistência a tração e o teor de umidade.

### 6.1 Sugestões

Para trabalhos futuros seria importante testar a aplicação de métodos de formação da embalagem diferentes, como prensagem, moldagem à vácuo ou termoformagem para proporcionar maior homogeneidade das fibras na estrutura do material de embalagem.

## REFERÊNCIAS

ANUÁRIO DA CERVEJA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Brasília, 2020.

ALIYU, S.; BALA, M. Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications. **African Journal of Biotechnology**, [s.l.], v. 10. n.3. p. 324-331, 2011.

AKYON, Benay; LIPUS, Daniel; BIBBY, Kyle. Glutaraldehyde inhibits biological treatment of organic additives in hydraulic fracturing produced water. **Science Of The Total Environment**, [s.l.], v. 666, p.1161-1168, 2019. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.056>

ASTM. Tensile properties of thin plastic sheeting. **Annual Book of ASTM Standards**, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, D 882, 1995.

BANEGAS, Rodrigo S. **Estudos em filmes formados por PVC e agentes Plastificantes: estabilidade, morfologia, propriedades térmicas e mecânicas**. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

BEKATOROU, A.; PSARIANOS, C.; KOUTINAS, A. A. Production of Food Grade Yeasts. **Food Technology and Biotechnology**. v. 44. n. 3. p. 407–415, 2006.

BRASIL. **Decreto nº 6.323, de 27 de dezembro de 2007**. Regulamenta a Lei no 10.831, de 23 de dezembro de 2003, que dispõe sobre a agricultura orgânica, e dá outras providências, [2007]. Disponível em:  
[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2007/Decreto/D6323.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Decreto/D6323.htm)

BRIGA-SÁ, Ana; NASCIMENTO, David; TEIXEIRA, Nuno; PINTO, Jorge; CALDEIRA, Fernando; VARUM, Humberto; PAIVA, Anabela. Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution. **Construction and Building Materials**, [s.l.], v. 38, p. 155-160, 2013. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.08.037>.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais**: uma introdução. 10 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

CAVALHEIRO, D.; BERTOLO, A. P.; KEMPKA, A. P.; ALBERTI, L.; VALDUGA, M.; BORGES, M. S.; BIZ, A. P.; RIGO, E. Levedura residual cervejeira: características e potenciais aplicações. In... Tópicos em Nutrição e Tecnologia de Alimentos. Ponta Grossa, Atena Editora, 2019. Disponível em: <  
<https://sistema.atenaeditora.com.br/index.php/admin/api/artigoPDF/8544>>. Acesso em: jul, 2021.

CARR, Laura G. **Desenvolvimento de embalagem biodegradável tipo espuma a partir de fécula de batata**. 2007. 107 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2 ed. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2003.

CERVBRASIL. **Associação Brasileira da Indústria da Cerveja**. Dados do setor, 2020. Disponível em: <[http://www.cervbrasil.org.br/novo\\_site/dados-do-setor/](http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/dados-do-setor/)>. Acesso em: 14 jul. 2020

CETINER, I. SHEA, A. D. Wood waste as an alternative thermal insulation for buildings. **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 168. p. 374-384, 2018.

CHOI, Daehee; KHAN, M. Hammad; JUNG, Jinyoung. Crosslinking of PVA/alginate carriers by glutaraldehyde with improved mechanical strength and enhanced inhibition of deammonification sludge. **International Biodeterioration & Biodegradation**, [s.l.], v. 145, p.104788-104796, 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.104788>

CORDEIRO, Luana Gomes; EL-AOUAR, Ânoar Abbas; ARAÚJO, Cassius Vinícius Bezerra de. Energetic characterization of malt bagasse by calorimetry and thermal analysis. **Journal of Thermal Analysis And Calorimetry**, [s.l.], v. 112, n. 2, p.713-717, 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10973-012-2630-x>

ÇENGEL, Yunus A. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. 4 ed. Porto Alegre: AMGH, 2012

DEMIATE, Ivo Motim; KONKEL, Francisco Eneias; PEDROSO, Ricardo Alexandre. Enzymatic determination of starch in doce de leite using dialysis. **Food Science and Technology**, [s.l.], v. 21, n. 3, p. 339-342, 2001.

DONATO, Paola di; TAURISANO, Valentina; POLI, Annarita; D'AYALA, Giovanna Gomez; NICOLAUS, Barbara; MALINCONINCO, Mario; SANTAGATA, Gabriella. Vegetable wastes derived polysaccharides as natural eco-friendly plasticizers of sodium alginate. **Carbohydrate Polymers**, [s.l.] v. 229, 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115427>

DUNGANI, Rudi; ADITIAWATI, Pingkan; ISLAM, Md. Nazrul; APRILIA, Nurjaman A. Sri; HARTATI, Sri; SULAEMAN, Aminudin; SUMARDI, Ihak; KARLIATI, Tati; YUNIARTI, Karnita; SUTRISNO. Evaluation of the effects of decay and weathering in cellulose-reinforced fiber composites. **Durability and Life Prediction In Biocomposites, Fibre-reinforced Composites And Hybrid Composites**, [s.l.], p.173-210, 2019. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-102290-0.00009-x>

FREITAS, Sidineia C. de ; SILVA, Tania dos S.; CARVALHO, Patrícia G. B. de.; TUPINAMBÁ, Daiva D.; KOAKUZU, Selma N.; CARVALHO, Ana V.; MOURA, Carlos F. H. Procedimento operacional padrão para determinação de fibras solúvel e insolúvel. 21 ed. Rio de Janeiro: **Embrapa Agroindústria de Alimentos**. 28p, 2008.

FLORINDO, Débora N. F.; **Obtenção de compósitos poliméricos com fibras naturais de bagaço de malte**. 2017. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso



(Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

GABRIEL, Tesfaye; BELETE, Anteneh; SYROWATKA, Frank; NEUBERT, Reinhard H.h.; GEBRE-MARIAM, Tsigie. Extraction and characterization of celluloses from various plant byproducts. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [s.l.], 40 p. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.264>.

GALDÁMEZ, E. V. C. **Aplicações técnicas de planejamento e análise de experimentos na melhoria da qualidade de um processo de fabricação de produtos plásticos**. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade de São Paulo. São Carlos, 2002.

GIAMPIETRO-GANECO, Aline; BORBA, Hirasilva; SCATOLINI-SILVA, Aline Mary; BOIAGO, Marcel Manente; SOUZA, Pedro Alves de; MELLO, Juliana Lolli Malagoli de. Quality assessment of eggs packed under modified atmosphere. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 39, n. 1, p. 82-88, fev. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542015000100010>.

GOMES, L. C.; RODRIGUES, D. de S.; SUAREZ, C. A. G.; MONTANO, I. D. C. Caracterização e pré-tratamento alcalino de bagaço de malte como potencial matéria-prima para produção de etanol 2G. **Anais ... 10 Encontro Nacional de Tecnologia Química**. Goiânia, 2017. Disponível em: <http://www.abq.org.br/entequi/2017/trabalhos/50/50-11320-24826.html>. Acesso em: fev, 2020.

HAFEMANN, Eduardo; BATTISTI, Rodrigo; MARANGONI, Cintia; MACHADO, Ricardo A.f.. Valorization of royal palm tree agroindustrial waste by isolating cellulose nanocrystals. **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 218, p. 188-198, ago. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.04.086>.

HASSAN, Shady S.; WILLIAMS, Gwilym A.; JAISWAL, Amit K.. Emerging technologies for the pretreatment of lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 262, p.310-318, 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2018.04.099>.

HEJNA, Aleksander; FORMELA, Krzysztof; SAEB, Mohammad Reza. Processing, mechanical and thermal behavior assessments of polycaprolactone/agricultural wastes biocomposites. **Industrial Crops And Products**, [s.l.], v. 76, p.725-733, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.07.049>.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 7 ed. Prentice Hall Brasil, 2010.

HULUPI, Mentik; HARYADI, Haryadi. Synthesis and Characterization of Electrospinning PVA Nanofiber-Crosslinked by Glutaraldehyde. **Materials Today: Proceedings**, [s.l.], v. 13, p.199-204, 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2019.03.214>.

INRA-INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE. UMR 408. **Dosage des oses neutres par la méthode des acetates d'alditols** :

Characterization of cell walls. Avignon: protocolo de atividade prática fornecido em 07 jan. 2009.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. Métodos físicos e químicos para análise de alimentos. 4. ed., 1. ed. digital. São Paulo: IAL, 2008.

ITAL. Instituto de Tecnologia de Alimentos. Embalagens de Polpa Moldada. **Boletim de Tecnologia e Desenvolvimento de Embalagens**. v. 18, n. 1. ISSN 0104-3781, 2006.

IVANO, Léa R. P. F. M.; **Bandejas biodegradáveis a base de amido de mandioca e resíduo fibroso da indústria cervejeira**. 2013. 122 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2013.

KALPANA, S.; PRIYADARSHINI, S. R.; LEENA, M. Maria; MOSES, J. A.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Intelligent packaging: Trends and applications in food systems. **Trends In Food Science & Technology**, [s.l.], v. 93, p.145-157, 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.008>.

KARIMI, Samaneh; DUFRESNE, Alain; TAHIR, Paridah Md.; KARIMI, Ali; ABDULKHANI, Ali. Biodegradable starch-based composites: effect of micro and nanoreinforcements on composite properties. **Journal Of Materials Science**, [s.l.], v. 49, n. 13, p.4513-4521, 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10853-014-8151-1>.

KOT, Anna M.; KIELISZEK, Marek; PIWOWAREK, Kamil; BIAŚEJAK, Stanisław; MUSSAGY, Cassamo Ussemame. Sporobolomyces and Sporidiobolus – non-conventional yeasts for use in industries. **Fungal Biology Reviews**, [S.L.], v. 37, p. 41-58, set. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbr.2021.06.001>.

KUBASKI, ITO. **Desenvolvimento de embalagem biodegradável a partir de resíduos da indústria de batata e cerveja**. 2017. 45 f. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

LUCCA, Alexsandro. **Extração, caracterização e aplicação do biopolímero da planta Pereskia aculeata miller como auxiliar coagulante/floculante no processo de tratamento de água**. 2017. 71 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.

MAIER, Christiane; ENSENBERGER, Stefanie; IRMSCHER, Stefan B.; WEISS, Jochen. Glutaraldehyde induced cross-linking of oppositely charged oil-in-water emulsions. **Food Hydrocolloids**, [s.l.], v. 57, p.221-228, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.02.004>.

MALI, Suzana; DEBIAGI, Flávia; GROSSMANN, Maria V. E.; YAMASHITA, Fábio. Starch, sugarcane bagasse fibre, and polyvinyl alcohol effects on extruded foam

properties: A mixture design approach. **Industrial Crops And Products**, [s.l.], v. 32, n. 3, p.353-359, 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.05.014>.

MARENGO, Vitor A.; VERCELHEZE, Ana E. S.; MALI, Suzana. Compósitos biodegradáveis de amido de mandioca e resíduos da agroindústria. **Química Nova**, [s.l.], v. 36. n. 5. p. 680-685, 2013.

MARTÍNEZ, Karim Y. P.; TOSO, Eli A. V.; MORABITO, Reinaldo. Production planning in the molded pulp packaging industry. **Computers & Industrial Engineering**, [s.l.], v. 98, p.554-566, ago. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2016.05.024>.

MARTÍNEZ, Karim Y. P; TOSO, Eli A. V. Planejamento da produção na indústria de embalagens de polpa moldada. **Gestão & Produção**, [s.l.], v. 23, n. 3, p. 649-660, 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530x1409-14>.

MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 5. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2012. xvi, 523 p. ISBN 9788521619024.

MELLO, Léa. R. P. F.; VERGÍLIO, Renata M.; MALI, Suzana. Caracterização Química e Funcional do Resíduo Fibroso da Indústria Cervejeira. *In*: Simpósio de Bioquímica e Biotecnologia, 3., 2013, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: UEL, 2013. p. 191-194.

PAGLIARO, M. **Glycerol**. 1 ed. The Renewable Platform Chemical. [s.l.]. Elsevier, 2017.

SABA, N.; JAWAID, M.; ASIM, M. Recent Advances in Nanoclay/Natural Fibers Hybrid Composites. **Nanoclay Reinforced Polymer Composites**, [s.l.], p.1-28, 2016. Springer Singapore. [http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-0950-1\\_1](http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-0950-1_1).

SANTOS, Bruna dos; COELHO, Tânia M.; FILHO, Nabi A.; LERMEN, Fernando H.; ANGELOTTI, Arthur M.; CAMPOS, Rubya V. M. Produção de blendas de polietileno e amido termoplástico. *In*: Encontro Internacional de Produção Científica UniCesumar, 9., 2015, Maringá. **Anais [...]**. Maringá, 2015, p. 4 – 8. Disponível em: [http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2015/anais/bruna\\_dos\\_santos\\_2.pdf](http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2015/anais/bruna_dos_santos_2.pdf). Acesso em: 08 nov. 2018.

SATYANARAYANA, Kestur. G.; ARIZAGA, Gregorio. G. C.; WYPYCH, F. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers - An overview. **Progress In Polymer Science**, [s.l.], v. 34, n. 9, p. 982-1021, 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2008.12.002>.

SENAI. Elementos de apoio para o Sistema APPCC - Indústria. 2 ed. Programa PAS Indústrias. Brasília, 2000.

ŞEN, Ferhat; UZUNSOY, İrem; BAŞTÜRK, Emre; KAHRAMAN, Memet V. Antimicrobial agent-free hybrid cationic starch/sodium alginate polyelectrolyte films

for food packaging materials. **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 170, p.264-270, ago. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.04.079>.

SHIMAZU, Aimoto A.; MALI, Suzana; GROSSMANN, Maria V. E. Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. **Ciências Agrárias**. v. 28, n. 1. p. 79-88, 2007.

SINDICERV. **Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja**. O setor em números, 2018. Disponível em: <<https://sindicerv.com.br/o-setor-em-numeros/>>. Acesso em: 13 jul. 2020.

SOUZA, Michele L. de.; CORIO, Paola.; TEMPERINI, Marcia L. A. Aplicação de espectroscopias raman e infravermelho na identificação e Quantificação de plastificantes em filmes comerciais de PVC esticável. **Química Nova**. v. 32. n. 6. p. 1452-1456, 2009.

STATISTICA: Software de Análise estatística. Versão 10. [S.l.]. Statsoft, 2011.

TANIGUCHI, Maiara Mitiko. **Incorporação de nanopartículas de prata em de vidros teluritos dopados com Pr<sup>3+</sup>**. 2018. 60 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

TEYSSANDIER, Fabien. **Formulation et morphologies de mélanges de polymères thermoplastiques à base d'amidon**. Autre. INSA de Lyon, 2011. Français. NNT: 2011ISAL0125. tel-00708484. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00708484>

TWEDE, D.; GODDARD, R. **Materiais para embalagens**. 1 ed. Quattor. v. 3. [s.l.], 2010.

WEERAPPULIARACHCHI, J.W.M.E.S.; PERERA, I.C.; GUNATHILAKE, S.S.; THENNAKON, S.K.S.; DASSANAYAKE, B.S.. Synthesis of cellulose microcrystals (CMC)/nylon 6,10 composite by incorporating CMC isolated from Pandanus ceylanicus. **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 241, p. 116227, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116227>.

V, Prathap; ALI, Kishwar; SINGH, Archana; VISHWAKARMA, Chandrapal; KRISHNAN, Veda; CHINNUSAMY, Viswanathan; TYAGI, Aruna. Starch accumulation in rice grains subjected to drought during grain filling stage. **Plant Physiology And Biochemistry**, [s.l.], v. 142, p.440-451, 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.07.027>.

VALIZADEH, Shahriyar; NASERI, Mahmood; BABAEI, Sedighe; HOSSEINI, Seyed Mohammad Hashem; IMANI, Ahmad. Development of bioactive composite films from chitosan and carboxymethyl cellulose using glutaraldehyde, cinnamon essential oil and oleic acid. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [s.l.], v. 134, p.604-612, ago. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.071>.

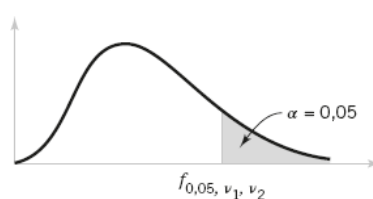
VERCELHEZE, Ana E.s.; FAKHOURI, Farayde M.; DALL'ANTÔNIA, Luiz H.; URBANO, Alexandre; YOUSSEF, Elza Y.; YAMASHITA, Fábio; MALI, Suzana. Properties of baked foams based on cassava starch, sugarcane bagasse fibers and montmorillonite. **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 87, n. 2, p.1302-1310, 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.09.016>.

YANG, Manli; WANG, Liang; XIA, Yanzhi. Ammonium persulphate induced synthesis of polymethyl methacrylate grafted sodium alginate composite films with high strength for food packaging. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [s.l.], v. 124, p.1238-1245, 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.012>.

YOUSSEF, Ahmed M.; EL-SAYED, Samah. M.. Bionanocomposites materials for food packaging applications: Concepts and future outlook. **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 193, p.19-27, 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.03.088>.

ZEEMAN, Samuel C.; KOSSMANN, Jens; SMITH, Alison M.. Starch: its metabolism, evolution, and biotechnological modification in plants. **Annual Review Of Plant Biology**, [s.l.], v. 61, n. 1, p. 209-234, 2 jun. 2010. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112301>.

## ANEXO A

Figura 1: Pontos Percentuais  $f_{\alpha, \nu_1, \nu_2}$  da Distribuição F;  $\alpha = 0,05$ 

		$f_{\alpha, \nu_1, \nu_2}$																		
		Graus de liberdade para o numerador ( $\nu_1$ )																		
$\nu_2$	$\nu_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	$\infty$
1	1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,9	245,9	248,0	249,1	250,1	251,1	252,2	253,3	254,3
2	1	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40	19,41	19,43	19,45	19,45	19,46	19,47	19,48	19,49	19,50
3	1	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,74	8,70	8,66	8,64	8,62	8,59	8,57	8,55	8,53
4	1	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,86	5,80	5,77	5,75	5,72	5,69	5,66	5,63
5	1	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,68	4,62	4,56	4,53	4,50	4,46	4,43	4,40	4,36
6	1	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,94	3,87	3,84	3,81	3,77	3,74	3,70	3,67
7	1	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,57	3,51	3,44	3,41	3,38	3,34	3,30	3,27	3,23
8	1	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,28	3,22	3,15	3,12	3,08	3,04	3,01	2,97	2,93
9	1	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,07	3,01	2,94	2,90	2,86	2,83	2,79	2,75	2,71
10	1	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,91	2,85	2,77	2,74	2,70	2,66	2,62	2,58	2,54
11	1	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,79	2,72	2,65	2,61	2,57	2,53	2,49	2,45	2,40
12	1	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,69	2,62	2,54	2,51	2,47	2,43	2,38	2,34	2,30
13	1	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,60	2,53	2,46	2,42	2,38	2,34	2,30	2,25	2,21
14	1	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,53	2,46	2,39	2,35	2,31	2,27	2,22	2,18	2,13
15	1	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,48	2,40	2,33	2,29	2,25	2,20	2,16	2,11	2,07
16	1	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,35	2,28	2,24	2,19	2,15	2,11	2,06	2,01
17	1	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,38	2,31	2,23	2,19	2,15	2,10	2,06	2,01	1,96
18	1	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,27	2,19	2,15	2,11	2,06	2,02	1,97	1,92
19	1	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,31	2,23	2,16	2,11	2,07	2,03	1,98	1,93	1,88
20	1	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,28	2,20	2,12	2,08	2,04	1,99	1,95	1,90	1,84
21	1	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,25	2,18	2,10	2,05	2,01	1,96	1,92	1,87	1,81
22	1	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,23	2,15	2,07	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,78
23	1	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27	2,20	2,13	2,05	2,01	1,96	1,91	1,86	1,81	1,76
24	1	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25	2,18	2,11	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,79	1,73
25	1	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,16	2,09	2,01	1,96	1,92	1,87	1,82	1,77	1,71
26	1	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,15	2,07	1,99	1,95	1,90	1,85	1,80	1,75	1,69
27	1	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25	2,20	2,13	2,06	1,97	1,93	1,88	1,84	1,79	1,73	1,67
28	1	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24	2,19	2,12	2,04	1,96	1,91	1,87	1,82	1,77	1,71	1,65
29	1	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22	2,18	2,10	2,03	1,94	1,90	1,85	1,81	1,75	1,70	1,64
30	1	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,09	2,01	1,93	1,89	1,84	1,79	1,74	1,68	1,62
40	1	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,00	1,92	1,84	1,79	1,74	1,69	1,64	1,58	1,51
60	1	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,92	1,84	1,75	1,70	1,65	1,59	1,53	1,47	1,39
120	1	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,09	2,02	1,96	1,91	1,83	1,75	1,66	1,61	1,55	1,55	1,43	1,35	1,25
$\infty$	1	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88	1,83	1,75	1,67	1,57	1,52	1,46	1,39	1,32	1,22	1,00

Fonte: Montgomery, 2021