

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA

BIANCA DIAS ALVIM

Avaliação do potencial de emprego do bagaço de malte como matéria prima para
obtenção de produtos de valor agregado: uma proposta de um processo industrial
baseada na revisão da literatura

Lorena - SP

2022

BIANCA DIAS ALVIM

Avaliação do potencial de emprego do bagaço de malte como matéria prima para obtenção de produtos de valor agregado: uma proposta de um processo industrial baseada na revisão da literatura

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo como requisito parcial para conclusão da Graduação do curso de Engenharia Bioquímica.

Orientador: Prof. Dr. Júlio César Dos Santos

Lorena - SP

2022

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DO TRABALHO DE
CONCLUSÃO DE CURSO DA ALUNA Bianca Dias Alvim, ORIENTADA PELO
PROF. Júlio César dos Santos.



ASSINATURA DO ORIENTADOR

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema
Automatizado da Escola de Engenharia de Lorena, com
os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Alvim, Bianca Dias

Avaliação do potencial de emprego do bagaço de malte como matéria prima para obtenção de produtos de valor agregado: uma proposta de um processo industrial baseada na revisão da literatura / Bianca Dias Alvim; orientador Júlio César dos Santos. - Lorena, 2022.

90 p.

Monografia apresentada como requisito parcial para a conclusão de Graduação do Curso de Engenharia Bioquímica - Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo. 2022

1. Bagaço de malte. 2. Indústria cervejeira. 3. Subprodutos de valor agregado. 4. Etanol de segunda geração. I. Título. II. dos Santos, Júlio César, orient.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Valter e Edilsa, que sempre me incentivaram e acreditaram em mim. Agradeço pela dedicação incansável em oferecer sempre as melhores oportunidades aos seus filhos. Sem vocês, nada seria possível.

Ao meu irmão, Dominick, que me presenteia com sua companhia e amizade em todas as fases de minha vida.

Aos meus avôs e avós, eterno exemplo de força e superação.

À República Frenéticas, por ser minha segunda família em Lorena. Em especial à Amanda, minha eterna alma gêmea.

Aos colegas e amigos que fiz durante a faculdade e levarei para a vida, em especial àqueles que estão comigo desde o primeiro dia: Henrique, Vitor e Jéssica.

Ao meu companheiro, Ali, que tanto me incentivou durante este trabalho. Agradeço por todo suporte e confiança.

Ao Macvestinho e ao Coletivo Feminista Enedina Alves Marques, que me reforçaram a importância da coletividade e da luta por oportunidades iguais para todos.

Ao Idoso Amigo, que me ensinou tanto sobre pertencimento e coragem de superar meus medos. Agradeço pelas memórias mais emocionantes de minha graduação.

Aos times de Tech e Global Risk Management da Ambev, onde tive o privilégio de estagiar e me desenvolver como profissional.

A todos os membros do LBBSIM e do DEBIQ, que me ensinaram e apoiaram durante minha iniciação científica, em especial ao Lucas Ramos, que acompanhou e orientou meu projeto com muita dedicação.

Ao Prof. Dr. Júlio César Dos Santos, que gentilmente me orientou na Iniciação Científica e no Trabalho de Conclusão de curso, por toda paciência, aprendizado e suporte.

À Prof.^a Dr.^a Rita De Cássia Lacerda Brambilla e ao Prof. Dr. Flávio Teixeira Da Silva, por aceitarem participar da minha banca e por todas as valiosas contribuições.

Por fim, à Escola de Engenharia de Lorena e todos seus professores e funcionários, que sempre deram todo apoio necessário para a minha evolução pessoal e profissional.

RESUMO

ALVIM, B. D. **Avaliação do potencial de emprego do bagaço de malte como matéria prima para obtenção de produtos de valor agregado: uma proposta de um processo industrial baseada na revisão da literatura.** 2022: 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2022.

É de extrema relevância em um ambiente industrial capturar todo o valor disponível das diferentes correntes de materiais, ou seja, ressignificar os coprodutos que são gerados a partir da produção do objetivo primário, o que pode contribuir significativamente para o resultado econômico da indústria. Na indústria cervejeira não é diferente. Existem algumas alternativas para o descarte dos coprodutos de maltaria e cervejaria, como a venda para produção de ração animal, mas é importante analisar a viabilidade econômica de todas as alternativas possíveis. O bagaço de malte representa 85% do total dos subprodutos de uma cervejaria. Ele é constituído predominantemente de restos de casca e polpa de malte. O etanol de bagaço de malte pode ser um produto interessante, uma vez que pode ser utilizado como matéria prima para as bebidas destiladas da cervejaria em questão. Portanto, o presente estudo teve como objetivo estudar o potencial de emprego do bagaço de malte como matéria prima para obtenção de diferentes produtos de valor agregado, com enfoque no etanol de segunda geração. Para isso foi realizada uma revisão da literatura sobre as potenciais aplicações e desenvolvida uma proposta de um processo industrial baseada nesta revisão da literatura. As configurações de processo que se mostraram mais interessantes com base na revisão da literatura foram: pré-tratamento por solvente orgânico com etanol, hidrólise enzimática e fermentação pela configuração SSF e destilação fracionada. O fluxograma de processo desenvolvido poderá ser útil em futuros estudos a respeito do uso de bagaço de malte para a produção de etanol.

Palavras-chave: Bagaço de malte; indústria cervejeira; subprodutos de valor agregado; etanol de segunda geração.

ABSTRACT

ALVIM, B. D. **Evaluation of the employment potential of malt bagasse as a raw material to obtain value-added products: a proposal for an industrial process based on a literature review.** 2021: 90 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2022.

It is essential in an industrial environment to capture all the available value of the different streams of materials, in other words, to re-signify the co-products generated from the production of the primary objective, which can significantly contribute to the financial result of the industry. In the brewing industry, it is no different. In the brewery analyzed in this study, there are some alternatives for the disposal of malt and brewery co-products, such as sales for animal feed production. Still, it is essential to analyze the economic feasibility of all possible alternatives. Malt bagasse represents 85% of the total by-products of a brewery. It consists predominantly of the remains of malt husk and pulp. Malt bagasse ethanol can be an interesting product, as it can be used as a raw material for the distilled beverages of the brewery in question. Therefore, this study aimed to study the potential for using malt bagasse as a raw material to obtain different value-added products, focusing on second-generation ethanol. For that, a literature review was carried out on potential applications, and a proposal for an industrial process based on this literature review was developed. Based on the literature review, the most interesting process configurations were pre-treatment by organic solvent with ethanol, enzymatic hydrolysis, and fermentation by the SSF configuration and fractional distillation. The process flowchart developed becomes helpful in future studies regarding using malt bagasse for ethanol production

Keywords: Malt bagasse; brewery industry; value-added by-products; second generation ethanol.

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Composição de 100g de grão de cevada | 20 |
| Tabela 2: Composição química do bagaço de malte, em porcentagem de massa seca..... | 23 |
| Tabela 3: Principais reações químicas envolvidas no processo de pré-tratamento de biomassa lignocelulósica | 50 |
| Tabela 4: Principais reações químicas envolvidas no processo de hidrólise ácida de biomassa lignocelulósica | 55 |
| Tabela 5: Reações químicas envolvidas no processo de hidrólise enzimática de biomassa lignocelulósica | 58 |
| Tabela 6: Reações químicas envolvidas no processo de fermentação de biomassa lignocelulósica | 59 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Fluxograma de processo genérico da produção de cerveja | 18 |
| Figura 2: Estrutura recalcitrante da biomassa lignocelulósica. | 21 |
| Figura 3: Evolução da produção de etanol total entre 2005 e 2020..... | 27 |
| Figura 4: Processo geral de produção de bioetanol a partir de materiais lignocelulósicos ... | 49 |
| Figura 5: Levedura <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> | 62 |
| Figura 6: Fluxograma do processo de produção de etanol hidratado a partir de bagaço de malte..... | 64 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------|---|
| B.U. | Base úmida |
| DQO | Demanda Química de Oxigênio |
| EB | Eficiência Biológica |
| ETA | Estação de Tratamento de Água |
| PBM | Potencial Bioquímico de Metano |
| SHF | Hidrólise e fermentação em separado |
| SSF | Sacarificação e fermentação simultâneas |
| SSCF | Sacarificação e cofermentação simultâneas |
| CBP | Bioprocesso consolidado |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 13 |
| 2. OBJETIVOS | 16 |
| 2.1 Objetivo geral | 16 |
| 2.2 Objetivos específicos | 16 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 17 |
| 3.1 Subprodutos da industria cervejeira | 17 |
| 3.2 Características e aplicações do malte de cevada | 18 |
| 3.3 Composição de materiais lignocelulósicos | 21 |
| 3.3.1. Composição química do bagaço de malte | 22 |
| 3.4 Aplicações do bagaço de malte | 23 |
| 3.4.1 Etanol | 23 |
| 3.4.1.1 Produção de etanol no Brasil e no mundo | 24 |
| 3.4.1.2 Biorrefinarias e etanol de segunda geração no Brasil | 27 |
| 3.4.2 Alimentação animal | 29 |
| 3.4.2.1 Desvantagens do uso de bagaço de malte para a alimentação animal .. | 31 |
| 3.4.3 Biogás | 32 |
| 3.4.4 Biopigmentos | 33 |
| 3.4.5 Biossorventes | 34 |
| 3.4.6 Carvão ativado | 36 |
| 3.4.7 Alimentação humana | 37 |
| 3.4.8 Espumas biodegradáveis | 40 |
| 3.4.9 Compostos fenólicos | 40 |
| 3.4.10 Goma xantana | 41 |
| 3.4.11 Substrato para fungos | 43 |
| 4. METODOLOGIA | 47 |
| 4.1 Revisão bibliográfica | 47 |
| 4.2 Detalhamento da produção de etanol 2G e síntese do processo | 47 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 48 |
| 5.1 Pré-tratamento | 49 |
| 5.1.1 Pré-tratamento por explosão a vapor | 50 |
| 5.1.2 Pré-tratamento por água quente líquida | 51 |
| 5.1.3 Pré-tratamento com ácido H ₂ SO ₄ diluído | 52 |
| 5.1.4 Pré-tratamento alcalino | 52 |
| 5.1.5 Solvente Orgânico | 54 |
| 5.2 Hidrólise | 54 |
| 5.2.1 Hidrólise ácida | 54 |

| | |
|--|----|
| 5.2.2 Hidrólise enzimática..... | 55 |
| 5.2.2.1 Enzimas que degradam materiais lignocelulósicos..... | 56 |
| 5.3 Fermentação..... | 58 |
| 5.3.1 Hidrólise e fermentação em separado (SHF)..... | 59 |
| 5.3.2 Sacarificação e fermentação simultâneas (SSF)..... | 60 |
| 5.3.3 Sacarificação e cofermentação simultâneas (SSCF)..... | 60 |
| 5.3.4. Bioprocesso consolidado (CBP)..... | 60 |
| 5.3.5 Comparação de processos..... | 60 |
| 5.3.6 <i>Saccharomyces cerevisiae</i> | 61 |
| 5.4 Destilação..... | 62 |
| 5.4.1 Destilação simples..... | 62 |
| 5.4.2 Destilação fracionada..... | 63 |
| 5.5 Fluxograma do processo..... | 63 |
| 6. CONCLUSÃO..... | 66 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS..... | 67 |

1. INTRODUÇÃO

O bagaço de malte representa 85% do total de subprodutos de uma cervejaria. Esse resíduo é obtido da filtração do mosto antes da fervura e é constituído majoritariamente de restos de casca e polpa de malte. Ele, em conjunto com outros grãos usados, que compõe o trub grosso e trub fino, possuem boas características nutricionais e, por conta disso, hoje em dia, são destinados predominantemente à produção de ração animal (CORDEIRO, 2011; LIMA et al., 2014; SANTOS; RIBEIRO, 2005).

Na indústria cervejeira, o malte, que posteriormente gerará o bagaço de malte, mais utilizado é o de cevada, que é um dos cereais de maior importância do mundo e uma das melhores plantas para se cultivar (CORDEIRO, 2011; MAPA, 2021). O processo de malteação consiste na germinação do cereal e, para isso, ocorre a sintetização e mobilização de enzimas que são liberadas no grânulo de amido. Este processo é dividido em maceração, germinação e secagem (TELES, 2007).

O estudo da composição dos materiais lignocelulósicos é muito importante para a sua utilização como matéria prima. Esses materiais são compostos de três frações macromoleculares: celulose, hemicelulose, que são formadas por polissacarídeos, e lignina, uma macromolécula aromática. A composição e a proporção entre esses constituintes variam de acordo com a espécie vegetal da qual se originaram. Para o aproveitamento de todas as frações dos resíduos lignocelulósicos, geralmente, é necessária a ruptura do complexo lignina-celulose-hemicelulose ou a remoção de cada fração por técnicas de pré-tratamento e deslignificação. Este tratamento preliminar garante que a biomassa possa ser eficientemente convertida em suas frações em processos industriais, pois a associação entre seus componentes confere-lhe grande resistência ao ataque de agentes químicos, enzimáticos ou microbianos (SWERTS et al., 2015).

O pré-tratamento envolve a separação dos componentes principais da biomassa (celulose, hemicelulose e lignina) e/ou modificação de sua estrutura, aumentando a digestibilidade enzimática do material. Existem diversos tipos de processos que podem ser utilizados para essa etapa, com diferentes rendimentos e efeitos distintos sobre a biomassa. A escolha do tipo de pré-tratamento deve considerar as especificidades do processo relacionadas a matérias-primas, enzimas e microrganismos (BNDES; CGEE, 2008; MENON; RAO, 2012).

Um dos produtos interessantes que podem ser obtidos a partir de matérias lignocelulósicas é o etanol de segunda geração.

Atualmente, preocupações referentes a aspectos econômicos, ambientais e de segurança energética têm levado ao desenvolvimento de pesquisas visando à obtenção de combustíveis alternativos através de fontes renováveis. Dentre as opções de combustíveis alternativos disponíveis, já é amplamente utilizado o etanol (CHERUBINI, 2010; BOUDET, 2011). Este combustível possui algumas vantagens em relação aos derivados de petróleo, possuindo características que possibilitam uma combustão mais limpa e com melhor desempenho dos motores, comparado à gasolina, o que contribui para a redução da emissão de gases poluidores.

O etanol de primeira geração é produzido a partir de matérias primas sacarinas, como a sacarose da cana-de-açúcar, ou amiláceas, como o milho. Este tipo de etanol já é produzido a partir de tecnologias bem estabelecidas. O etanol de segunda geração é aquele produzido a partir de materiais lignocelulósicos, incluindo resíduos agrícolas como o bagaço de cana-de-açúcar, palha e sabugo de milho e palha de arroz, entre outros (BNDES; CGEE, 2008).

No Brasil, o etanol é majoritariamente obtido a partir da sacarose da cana-de-açúcar, devido à alta disponibilidade dessa planta no país. Já o bioetanol produzido a partir de materiais lignocelulósicos, o chamado etanol de segunda geração (2G), vem sendo produzido em trabalhos de pesquisa desde o fim do século XIX, mas somente nos últimos tempos essa tecnologia tem sido estudada a fim de atender ao mercado de biocombustíveis. O álcool de segunda geração, obtido a partir de materiais lignocelulósicos, apresenta vantagens como a grande disponibilidade da matéria prima, o elevado potencial de redução na emissão de CO₂ quando se considera o balanço global de carbono e o fato de sua obtenção não implicar na competição com a cadeia de produção de alimentos. Basicamente todos os resíduos de biomassa, que restam das atividades agrícolas e industriais, e até mesmo o lixo urbano, apresentam elevados teores de materiais lignocelulósicos (MENDES et al., 2013; BNDES; CGEE, 2008). Dentre eles, o bagaço de malte é uma fonte promissora para a produção de etanol 2G no Brasil, devido a sua grande disponibilidade como subproduto da indústria cervejeira e por ser um material composto de polímeros que podem ser convertidos em açúcares fermentescíveis (MASSARDI; MASSINI; SILVA, 2020).

Para a produção de etanol de segunda geração, além da etapa de pré-

tratamento, são realizadas as etapas de hidrólise e fermentação, que podem ocorrer em separado, no processo SHF (*separate hydrolysis and fermentation*) ou de forma simultânea – “sacarificação e fermentação simultânea”, SSF (*simultaneous saccharification and fermentation*) (DEVARAPALLI; ATIYEH, 2015; CHANDEL; SILVA, 2014).

No presente trabalho, foi realizada uma avaliação do potencial de diferentes produtos de valor agregado a partir do bagaço de malte, com uma análise mais detalhada do etanol de segunda geração. Para isso foi realizada uma revisão da literatura sobre os potenciais aplicações e proposto um processo industrial para a produção de etanol 2G baseado nesta revisão da literatura.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar e comparar os diferentes produtos de valor agregado que podem ser obtidos a partir do bagaço de malte gerado na indústria cervejeira, propondo, com base em uma revisão da literatura, um processo industrial.

2.2 Objetivos específicos

- Indicar os produtos de bagaço de malte mais interessantes e que possuam maior valor agregado, utilizando como ferramenta a revisão da literatura.
- Comparar os produtos selecionados em relação, principalmente, ao seu valor agregado, custo de produção e valor para a indústria.
- Elaborar o fluxo de processo industrial para o produto que se mostrar mais interessante.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Subprodutos da indústria cervejeira

Cerveja é definida como a bebida alcoólica fermentada por leveduras e/ou bactérias, composta por água, malte de cevada e/ou outros grãos maltados ou não maltados e temperada com lúpulo. (PEREIRA, 2021). O Brasil, em 2021, era o terceiro maior produtor de cerveja do mundo. A produção no país chega a cerca de 14,1 bilhões de litros por ano e movimenta em torno de 1,6% do PIB (Produto Interno Bruto) nacional (CERVBRASIL, 2021).

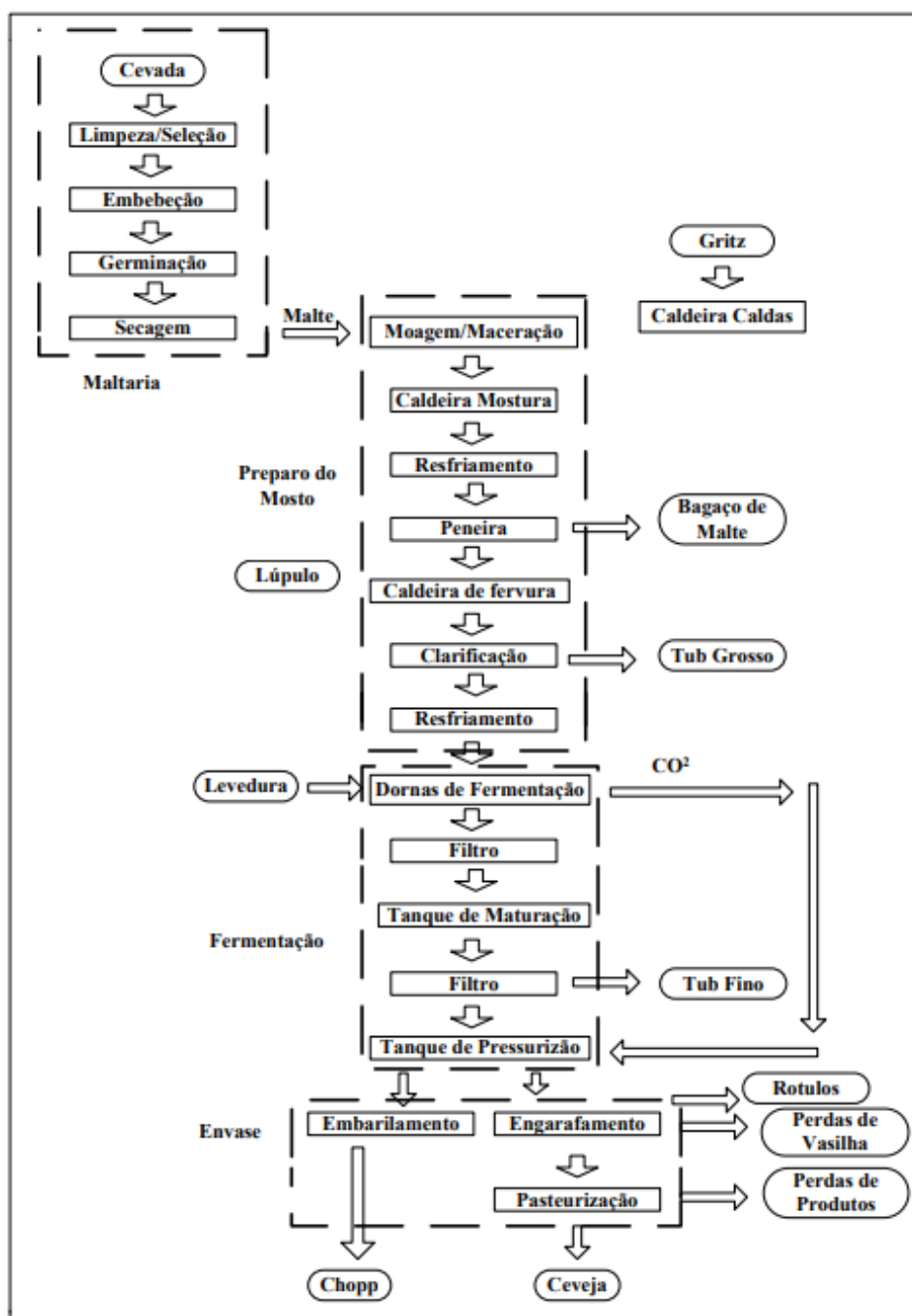
Embora, em comparação com outras indústrias, a indústria cervejeira tende a ser menos poluente, os subprodutos e resíduos descartados ainda apresentam potencial de contaminação do meio ambiente (CORDEIRO, 2011).

Os principais resíduos gerados nessa indústria são: excesso de levedura, que pode ser usada em novas bateladas ou vendida para a indústria alimentícia, resíduos do envase, que incluem pasta celulósica oriunda dos rótulos removidos nas lavagens de garrafas retornáveis e garrafas quebradas, que podem ser vendidos para a indústria de reciclagem, terra diatomácea, subproduto da clarificação do mosto, que é destinada a aterros como material inerte, lodo, que é tratado em Estações de Tratamento de Água (ETA), e grãos usados, que representam os resíduos gerados em maior quantidade e são divididos em bagaço de malte, gerado na filtração do mosto antes da fervura, o trub grosso, retirado na primeira filtração após o cozimento e o trub fino, retirado na segunda filtração.

Os grãos usados possuem boas características nutricionais e, por isso, são majoritariamente destinados à produção de ração animal (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

O bagaço de malte representa 85% do total dos subprodutos de uma cervejaria. Para cada 100L de cerveja produzida, são formados aproximadamente 20 kg de bagaço de malte. Ele é constituído predominantemente de restos de casca e polpa de malte, mas também pode conter grãos do adjunto, como arroz, trigo e milho, e é obtido, no processo cervejeiro, da filtração do mosto antes da fervura (CORDEIRO, 2011; LIMA et al., 2014). A Figura 1 apresenta um fluxograma de um processo genérico de produção de cerveja. Na figura, é possível observar o bagaço de malte sendo obtido após o mosto passar pela peneira.

Figura 1: Fluxograma de processo genérico da produção de cerveja



Fonte: Fonte: Mega, Neves e Andrade, 2007.

3.2 Características e aplicações do malte de cevada

Malte é o termo que se refere à matéria-prima que resulta da germinação de qualquer cereal em determinadas condições controladas. O malte pode ser produzido a partir de cevada, trigo, centeio, entre outros.

O processo de malteação consiste na síntese e mobilização de enzimas

que são liberadas no grânulo de amido e é dividido em maceração, germinação e secagem (TELES, 2007).

Na maceração, a cevada limpa, ou qualquer grão a ser malteado, é esmagada com água em tanques até a cevada atingir 42-48% de umidade. Após a maceração, começa a etapa de germinação, onde o amido e as proteínas presentes são hidrolisados e ocorre a produção de enzimas. Depois que a estrutura embrionária atinge dois terços do comprimento do grão, este processo é interrompido pela secagem, na qual a umidade e água superficial é reduzida até aproximadamente 5% b.u. (base úmida). Após esse procedimento, o malte está curado e deve ser deixado em repouso até alcançar uma umidade final de 3-5 b.u. (CORDEIRO, 2011).

Na indústria cervejeira, o malte mais usado é o de cevada. Este é um dos cereais de maior importância do mundo, depois do trigo, milho e arroz, e é uma das melhores plantas para se cultivar. No Brasil, embora a produção deste grão tenha aumentado nos últimos anos (em 2020, foram produzidas 374,4 mil toneladas de cevada no país), este aumento não é o suficiente para cobrir a demanda nacional do grão. Segundo Aloísio Vilarinho, pesquisador em Genética e Melhoramento (culturas anuais), da Embrapa Trigo, do volume demandado de cevada no Brasil, 68% foi importado e 32% produzido nacionalmente. (CORDEIRO, 2011; MAPA, 2021).

Além de seu uso na indústria de bebidas, o grão de cevada também é utilizado na indústria de alimentação animal como ração e forragem verde e na composição de farinhas ou flocos para panificação, na produção de medicamentos e formulações de produtos dietéticos e de substitutos do café. Entretanto, na alimentação humana seu uso é um tanto restrito por não possuir adequada avaliação nutricional, como outros cereais mais interessantes para este propósito (CORDEIRO, 2011).

O grão de cevada é composto basicamente de amido, proteína e fibra alimentar, mas também possui, em menor quantidade, lipídeos, minerais e vitaminas (CORDEIRO, 2011). A Tabela 1 apresenta a composição química da cevada.

Tabela 1: Composição de 100g de grão de cevada

| Componente | Valor |
|---|-------|
| Água (g) | 9,44 |
| Valor energético (kcal) | 354 |
| Proteína (g) | 12,48 |
| Gorduras totais (g) | 2,3 |
| Carboidratos por diferença (g) | 73,48 |
| Fibra alimentar (g) | 17,3 |
| Monossacarídeos (g) | 0,8 |
| Cálcio (mg) | 33 |
| Ferro (mg) | 3,6 |
| Magnésio (mg) | 133 |
| Fósforo (mg) | 264 |
| Potássio (mg) | 452 |
| Sódio (mg) | 12 |
| Zinco (mg) | 2,77 |
| Vitamina C, ácido ascórbico total (mg) | 0 |
| Tiamina (mg) | 0,646 |
| Riboflavina (mg) | 0,285 |
| Niacina (mg) | 4,604 |
| Vitamina B6 (mg) | 0,318 |
| Ácido fólico, total (µg) | 19 |
| Vitamina B12 (µg) | 0 |
| Vitamina A, atividade equivalente de retinol (µg) | 1 |
| Vitamina A, SI (IU) | 22 |
| Vitamina E, alfatocoferol (mg) | 0,57 |
| Vitamina D, D2+D3 (µg) | 0 |
| Vitamina D (IU) | 0 |
| Vitamina K, filoquinona (µg) | 2,2 |
| Gorduras saturadas (g) | 0,482 |
| Gorduras monoinsaturadas (g) | 0,295 |
| Gorduras poliinsaturadas (g) | 1,108 |
| Colesterol (mg) | 0 |
| Cafeína (mg) | 0 |

Fonte: DIS, 2016.

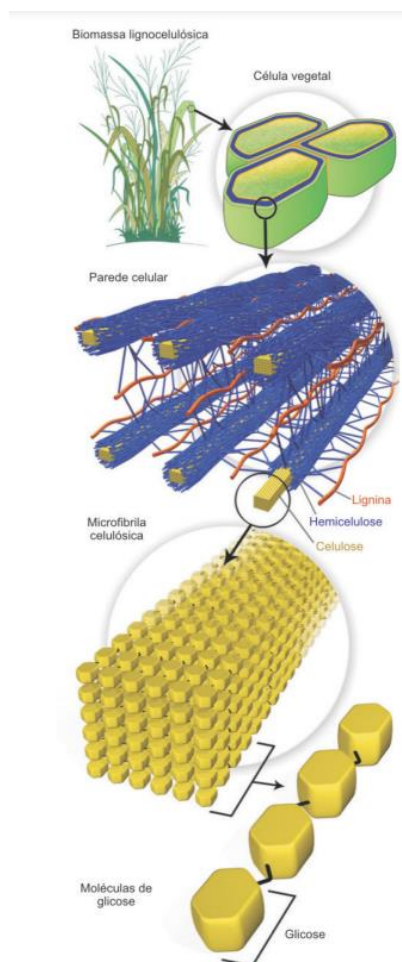
A qualidade e o sabor da cerveja são influenciados por diversos parâmetros, que englobam a qualidade da cevada e do malte, o que, por sua vez, depende do teor de enzimas presentes e da temperatura de secagem na malteação

(SANTOS; COUTO; ANDRADE, 2001). Os maltes também podem ser classificados de acordo com sua tonalidade: maltes mais claros são formados através de reações químicas em um nível mínimo, sem temperaturas elevadas, enquanto na produção do malte mais escuro, são utilizadas temperaturas mais elevadas enquanto o teor de umidade ainda está em um nível alto (CORDEIRO, 2011).

3.3 Composição de materiais lignocelulósicos

Os materiais lignocelulósicos são constituídos principalmente por duas frações polissacarídicas: celulose e hemicelulose; e uma fração polifenólica - a lignina, além de outros compostos e minerais (RUBIN, 2008). As frações constituintes do material constituem-se em uma estrutura fechada, a qual compõe a parede celular do vegetal. A Figura 2 mostra a estrutura da biomassa lignocelulósica.

Figura 2: Estrutura recalcitrante da biomassa lignocelulósica.



Fonte: Santos et al., 2012.

A celulose é o carboidrato mais abundante na natureza, sendo um homopolissacarídeo de cadeia linear constituído por unidades de glicose, ligadas por ligações glicosídicas, e tendo como unidade repetitiva a celobiose (dímero de glicose) (FENGEL; WEGENER, 1989; SUN; CHENG, 2002).

A hemicelulose apresenta composição polissacarídica, de baixa massa molar, constituída por vários açúcares, tanto pentoses como hexoses, além de ácidos urônicos e outros compostos, compondo macromoléculas geralmente ramificadas. A proporcionalidade dos compostos varia de acordo com a origem e espécie do vegetal; além disso, as hemiceluloses não contêm regiões cristalinas e, portanto, podem ser hidrolisadas sob condições mais brandas em comparação à celulose (SUN; CHENG, 2002; KOOTSTRA et al., 2009).

A lignina corresponde a uma macromolécula também presente na parede celular dos vegetais, que está associada à celulose. Possui estrutura polifenólica amorfa, composta principalmente por unidades de fenilpropano (LEE, 1997). Por não ser de natureza polissacarídica, não é pretendida para produção de etanol por rota fermentativa. Sua principal função na parede celular é conferir rigidez e impermeabilidade, além de resistência ao ataque de microrganismos, dificultando a acessibilidade enzimática ao substrato (FENGEL; WENEGER, 1989; LEE, 1997).

3.3.1. Composição química do bagaço de malte

O bagaço de malte possui altos teores de fibras lignocelulósicas e proteínas. Massardi, Massini e Silva (2020) caracterizaram o bagaço de malte do tipo pilsen, oriundo de cervejaria, em relação aos seus principais componentes. Os resultados obtidos pelos autores são apresentados na Tabela 2. A lignina total é a soma entre lignina insolúvel e solúvel, enquanto o teor de hemiceluloses é considerado como a soma entre os teores de xilana e de arabinana. Todos os teores foram calculados em base seca. O material analisado pelos autores, segundo eles, possui composição dentro da faixa encontrada na literatura, com pequenas oscilações entre os valores, que se deve à diversidade de tipos de malte e receitas cervejeiras e à evolução dos métodos de quantificação e dos equipamentos, dos reagentes e dos instrumentos disponíveis.

Tabela 2: Composição química do bagaço de malte, em porcentagem de massa seca

| Componente | Teor (%) |
|-----------------------|--------------|
| Celulose | 15,99 ± 0,88 |
| Hemiceluloses, sendo: | 29,92 ± 1,60 |
| Xilana | 25,22 ± 1,46 |
| Arabinana | 4,71 ± 0,14 |
| Lignina, sendo: | 20,80 ± 0,42 |
| Lignina insolúvel | 17,78 ± 0,41 |
| Lignina solúvel | 3,02 ± 0,01 |
| Proteínas | 21,16 ± 0,61 |
| Extrativos | 8,33 ± 0,76 |
| Cinzas | 3,76 ± 0,05 |

Fonte: Massardi, Massini e Silva (2020)

3.4 Aplicações do bagaço de malte

3.4.1 Etanol

A produção de etanol a partir de bagaço de malte ainda não é realizada comercialmente, mas já existem diversos estudos sobre o tema (MASSARDI; MASSINI; SILVA 2020). Dentre eles, alguns estudos foram destacados:

Wilkinson, Smart e Cook (2014) estudaram o efeito do pré-tratamento do bagaço de malte na produção de etanol. Eles testaram o pré-tratamento com diversos ácidos e bases diluídas a 121 °C por 30 minutos, e encontraram melhor resultado para o bagaço tratado com ácidos clorídrico e sulfúrico, que na posterior fermentação alcançou um rendimento próximo a 70% do etanol teórico;

Ravindran et al. (2018) também estudaram diferentes pré-tratamentos e constataram que o pré-tratamento alcalino em micro-ondas, a explosão da fibra por amônia e o ácido diluído são as opções que levaram a melhores rendimentos;

Pinheiro et al. (2019) estudaram o efeito de altas cargas de sólidos (até 25%) no pré-tratamento do bagaço de malte por auto-hidrólise. Eles atingiram maiores concentrações de glicose (43,7 e 57,7 g L⁻¹) e rendimento de glicose (85,9 e 70,6%) a partir da sacarificação da pasta total de bagaço de malte pré-tratada a 20 e 25% de carga sólida.

Estes resultados indicam o potencial do bagaço de malte como uma matéria prima para a produção de bioetanol.

3.4.1.1 Produção de etanol no Brasil e no mundo

O relatório do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), de 2018, ressalta diversos problemas que serão enfrentados devido à elevação da temperatura média da terra, entre eles temperaturas extremas na maioria das regiões habitadas, chuvas pesadas em várias regiões, probabilidade de seca e baixos níveis de chuvas em determinadas regiões, aumento do nível, da temperatura média e do nível de acidez dos oceanos e queda no nível de oxigenação, impactos nos ecossistemas e na biodiversidade, riscos à saúde, segurança alimentícia, suprimento de água e crescimento econômico (IPCC, 2018). O aquecimento que resulta nesses problemas é resultado do acúmulo excessivo de gases de efeito estufa na atmosfera. Dentre os gases do efeito estufa, o CO₂ se destaca como o gás que mais contribui para o agravamento desse fenômeno, uma vez que está associado à produção e consumo de energia em todo mundo e por permanecer na atmosfera por muito tempo. Este gás, além da sua emissão natural, pode ser proveniente de emissões antropogênicas também, como pela queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo, gás natural etc.). (MENDONÇA; GUTIEREZ, 2000).

O relatório do IPCC de 2018 também alertou sobre os impactos do aquecimento global de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais e a importância de limitar o aumento da temperatura terrestre a este nível até o ano de 2100 (IPCC, 2018). Para atingir esse objetivo, é imprescindível reduzir as emissões de CO₂ no planeta ao aumentar a participação de fontes de energia renovável, substituir o consumo de combustíveis fósseis mais poluidores por outros menos poluidores e aumentar a participação de fontes de energia renovável na oferta de energia (OLIVIER; SCHURE; PETERS, 2017).

Além da questão do aumento excessivo de gases do efeito estufa na atmosfera, o aumento do consumo mundial de energia também promove um esgotamento progressivo dos recursos energéticos que se baseiam em energia não renovável, o que constitui uma alteração drástica e de natureza negativa da qualidade ambiental. O uso presente das reservas de petróleo e gás natural reduz as reservas futuras. É imprescindível, portanto, desenvolver tecnologias que reduzam o esgotamento e verificar possíveis substitutos para essas fontes energéticas. (MACHADO; VILANI, 2010).

Neste cenário, o etanol pode ser considerado como uma alternativa aos

combustíveis de origem fóssil, uma vez que possui um menor fator de emissão de carbono comparado ao óleo diesel e a gasolina e é considerado um biocombustível de baixo impacto no meio ambiente, uma vez que, no plantio da cana, ocorre um sequestro de carbono da atmosfera. (ARAÚJO; OLIVEIRA, 2020). Além disso, possui uma combustão mais limpa e com melhor desempenho dos motores, quando comparado à gasolina, o que contribui para a menor emissão de gases poluidores (BNDES; CGEE, 2008). O etanol é o biocombustível mais usado em veículos, tanto diretamente como combustível quanto misturado à gasolina, já que pode aumentar o seu nível de oxigênio e, portanto, permitir uma maior combustão (DERMIBAS, 2005).

Atualmente, com base na matéria prima utilizada na produção, o etanol pode ser classificado em de primeira, de segunda e de terceira geração. O etanol de primeira geração é produzido a partir de matérias primas sacarinas, como a cana-de-açúcar, ou amiláceas, como o milho, e já possui tecnologias bem estabelecidas para sua produção. O etanol de segunda geração é produzido a partir de materiais lignocelulósicos, que podem ser resíduos agrícolas como bagaço de cana-de-açúcar, bagaço de malte, sabugo e palha de milho e palha de arroz. O etanol de fonte lignocelulósica vem sendo produzido em trabalhos de pesquisa desde o fim do século XIX, mas somente nos últimos tempos esta tecnologia tem sido estudada para atender o mercado de biocombustíveis, sendo considerada muito vantajosa, uma vez que há uma grande disponibilidade de matéria prima (basicamente todos os resíduos de biomassa, que restam das atividades agrícolas e industriais, e até mesmo o lixo urbano, apresentam elevados teores de materiais lignocelulósicos), ela possui elevado potencial de redução na emissão de CO₂ e sua obtenção não implica na competição com a cadeia de produção de alimentos (BNDES; CGEE, 2008; MENDES et al., 2013). Já o etanol de terceira geração tem como fontes de açúcares a biomassa marinha, macro e microalgas, organismos ricos em polissacarídeos, que produzem uma grande quantidade de biomassa e que possuem um baixo custo de produção.

No Brasil, por conta da alta disponibilidade desta planta, o etanol é majoritariamente produzido a partir de cana-de-açúcar. A produção de etanol trouxe uma série de vantagens para o país, como a geração de renda, a redução de dívidas com a importação de petróleo e a minimização das emissões gasosas. (HARGREAVES, 2013).

A regulamentação e legalização da produção e uso de etanol como combustível veicular no Brasil aconteceu em 1931. Desde então, questões políticas e

econômicas no país, como aumentos e quedas no preço do petróleo, levaram a diferentes fases desta produção. Em 1973 ocorreu a primeira crise do petróleo, que resultou em um aumento de aproximadamente 300% em seu preço e na criação do PROALCOOL pelo governo brasileiro, em 1975, com intenção de reduzir a dependência de combustíveis fósseis importados e substituí-los pelo etanol de biomassa (cana-de-açúcar, mandioca e sorgo). Desde então, a produção de etanol de primeira geração (1G) foi evoluindo, uma vez que o consumo interno de etanol como biocombustível está aumentando e muitos países já aprovaram o uso da mistura de etanol com gasolina, o que deve aumentar as exportações. Brasil e Estados Unidos são os principais produtores de etanol, utilizando como matéria prima cana-de-açúcar e milho, respectivamente (MAEDA, et al., 2011; SANTOS et al., 2016).

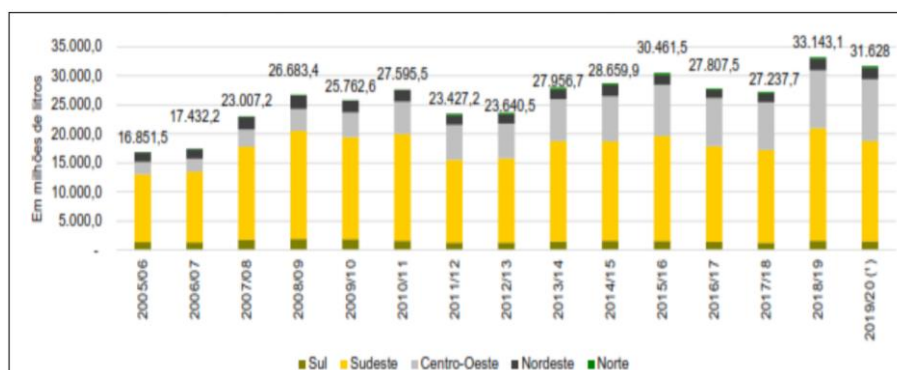
Em 2016, o Brasil possuía por volta de 345 usinas de etanol que produziam mais de 28,66 bilhões de litros de etanol por ano. Essa grande produção se deve a três características que diferenciam a indústria de cana-de-açúcar no Brasil da de outros países:

- a maioria das unidades do Brasil produz uma proporção alta de cana-de-açúcar processada, com apenas um terço da matéria prima de terceiros, diferente de outros países, que tendem a separar a atividade agrícola da produção industrial;
- o Brasil possui uma diversidade de produtos comercializados feitos a partir do caldo da cana e resíduos da moagem;
- a posição geográfica do Brasil fornece uma grande variedade de microclimas que tornam economicamente viável a produção em escala industrial da maioria das culturas comerciais utilizadas em todo mundo, assim, é possível uma distribuição espacial das unidades de produção em uma grande área (SANTOS et al., 2016).

Apesar das vantagens no uso do etanol, em 2011 houve uma queda nas vendas de automóveis flex por conta de um aumento no preço do etanol hidratado e a produção deste combustível caiu 30%, o que aumentou o seu preço e fez com que o consumidor preferisse à gasolina. Isso foi desencadeado por diversos fatores, entre eles a crise financeira que atingiu o setor, baixo investimento nos canaviais, problemas climáticos e valorização do açúcar no mercado internacional (GARCIA, 2012). Como consequência, o setor sucroenergético acumulou dívidas crescentes e muitas usinas foram fechadas. Entretanto, depois de 2015, se aproveitando do aumento dos preços

do açúcar internacionalmente, o setor conseguiu ampliar seu faturamento e quitar uma parcela das dívidas que adquiriu (EPE, 2017). A Figura 3 apresenta o avanço da produção de etanol de milho e de cana-de-açúcar entre 2005/06 e 2019/20 no Brasil.

Figura 3: Evolução da produção de etanol total entre 2005 e 2020



Fonte: Conab, 2019.

3.4.1.2 Biorrefinarias e etanol de segunda geração no Brasil

Há vários conceitos de biorrefinaria, mas poucas são as diferenças encontradas em suas definições (PARADA et al., 2017). O IEA Bioenergy (2010), por exemplo, define biorrefinaria como o processamento sustentável de biomassas em um espectro de produtos comercializáveis (alimentos, rações, materiais, químicos) e/ou energia (combustíveis, eletricidade, calor). Para o NREL - National Renewable Energy Laboratory (2012), biorrefinaria é uma instalação que integra processos e equipamentos de conversão de biomassa para produção de combustíveis, energia e produtos químicos. A definição de biorrefinaria foi desenvolvida para ter um modelo ideal de processamento integral da biomassa, sendo de particular interesse a de origem vegetal (MODENBACH; NOKES, 2012).

De fato, as necessidades de reduzir as emissões de gases do efeito estufa e de promover a sustentabilidade na produção de energia, combustíveis e químicos, fazem com que a utilização de biomassa vegetal se torne uma opção interessante, considerando-se que esta representa a fonte renovável rica em carbono mais abundante no planeta (GHATAK, 2011). No Brasil, o bagaço de cana-de-açúcar é um dos principais subprodutos agroindustriais que vem sendo amplamente estudado para a produção de etanol de segunda geração e outras biomoléculas. Existem, inclusive, plantas industriais para produção de etanol de segunda geração instaladas no país,

como a Raízen e GranBio (SANTOS et al., 2016).

A GranBio foi a primeira planta em escala comercial de etanol celulósico construída no Hemisfério Sul, em 2011 com sede em São Paulo- SP, apesar da produção de etanol 2G ser iniciada em 2014, na usina BioFlex 1, em São Miguel dos Campos-AL. Esta usina possui capacidade de produzir 82 milhões de litros de etanol 2G por ano, mas essa capacidade nunca foi atingida. A produção de etanol 2G nesta usina foi interrompida em 2016 devido a complicações no pré-tratamento. Era prevista a retomada da produção para janeiro de 2019, porém não foram encontrados na literatura dados recentes de produção.

Já a Raízen, também fundada em 2011 na cidade de Piracicaba-SP, a partir da junção de negócios das empresas Shell e Cosan, é uma das líderes em moagem de cana, produção de etanol e distribuição de combustíveis.

Ambas as plantas de produção de etanol brasileiras utilizam o pré-tratamento por explosão a vapor, hidrólise enzimática com enzimas dinamarquesas e fermentação com leveduras importadas, porém a GranBio utiliza como biomassa a palha de cana-de-açúcar, enquanto a Raízen utiliza o bagaço de cana-de-açúcar. (FREITAS, 2020). O bagaço de cana-de-açúcar é um subproduto da moagem da planta obtido nas indústrias sucroalcooleiras, as quais estão inseridas no contexto histórico e cultural nacional. De acordo com os dados da Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, o Brasil produziu 643 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra 2017/2018. Seguindo a proporção de Procknor (2000), a qual indica que aproximadamente 26,7% do peso de cana-de-açúcar se torna bagaço, a produção do resíduo correspondeu a aproximadamente 172 milhões de toneladas no país.

O bagaço de malte também é uma matéria prima interessante para produção de etanol 2G e diversos estudos comprovam isto.

Garcia (2012) estudou a produção de etanol pela levedura *Pichia stipitis* utilizando o hidrolisado hemicelulósico de bagaço de malte como substrato de forma pura e suplementado com extrato de farelo de arroz, ureia e extrato de levedura. Os resultados obtidos pela autora indicam que o bagaço hidrolisado com ácido diluído possui nutrientes essenciais ao metabolismo da levedura utilizada pois ela foi capaz de crescer e produzir etanol sem a suplementação nutricional. Entretanto, a adição de 3,0 g/L de extrato de levedura favoreceu a bioconversão e elevou a conversão ($Y_{P/S} = 0,44$ g/g), o que corresponde a 72% do valor teórico, e a produtividade volumétrica em etanol ($Q_P = 0,33$ g/L.h).

Lima et al. (2014) avaliaram a produção de etanol a partir de bagaço de malte pré-tratado por explosão à vapor utilizando ácido sulfúrico como catalisador, hidrolisado por ação de enzimas e fermentado utilizando a *levedura Saccharomyces cerevisiae*. Eles chegaram a um rendimento na produção de etanol de 4,2 % (v/v) para a fermentação realizada com bagaço tratado com ácido e 0,75% (v/v) para a fermentação realizada com bagaço tratado sem ácido.

3.4.2 Alimentação animal

A pecuária brasileira tem uma enorme importância na economia do país, ocupando uma vasta área do seu território e gerando renda para milhões de brasileiros. Em março de 2022, o setor representava 27,4% no PIB brasileiro, a maior participação desde 2004. Em 2020, o número de cabeças de gado do rebanho bovino brasileiro foi o maior do mundo, com 217 milhões de cabeças, representando 14,3% do rebanho mundial. O Brasil também se destacou como o maior exportador de carne bovina do mundo, com 2.2 milhões de toneladas (ARAGÃO, CONTINI, 2021; CEPEA, CNA, 2022).

A nutrição do gado leiteiro é um fator crucial no seu desempenho, saúde e bem-estar. A capacidade de ingestão de um animal é influenciada por diversos fatores, que podem estar relacionadas às individualidades de seu organismo, às características ambientais ou do alimento e às condições de manejo (BROCHIER e CARVALHO, 2008)

Neste cenário, a ingestão de matéria seca para ruminantes é muito importante, uma vez que estabelece a quantidade de nutrientes disponíveis para a saúde e produção. A quantidade de matéria seca ingerida deve ser calculada com precisão para garantir um uso eficiente dos nutrientes. A subalimentação de nutrientes afeta a saúde do animal, enquanto a superalimentação resulta em excreção excessiva de nutrientes no meio ambiente e pode se tornar tóxica e afetar a saúde do animal, além de aumentar os custos com alimentação (NRC, 2021).

O resíduo de cervejaria pode ser uma alternativa interessante na alimentação de ruminantes, por conta de seu alto teor de proteína bruta. Ele possui menor custo que alimentos proteicos tradicionais, como o farelo de soja, e não compete com a alimentação humana (FACCENDA, 2015).

Entretanto, uma limitação da utilização do resíduo úmido de cervejaria em

propriedades distantes das indústrias cervejeiras é o seu transporte e armazenamento. No Brasil, o resíduo úmido é muitas vezes armazenado em tanques abertos, o que, combinado com a sua elevada umidade (em torno de 800g.kg-i), contribui para sua rápida degradação e perda da qualidade (CABRAL FILHO et al., 2007). Logo, a ensilagem ou a secagem se tornam alternativas interessantes para evitar esta degradação.

A secagem é uma alternativa atraente pois facilita o armazenamento do material, ao diminuir o seu volume, mas é necessário tomar cuidado com esse método, uma vez que a secagem com altas temperaturas pode complexar das proteínas dos compostos da parede celular, reduzindo o valor nutricional do produto (FACCENDA, 2015).

Bagatini e Sant'anna (2020) estudaram a influência da temperatura através de ar estático quente (60 – 100°C) na concentração de polifenóis totais, flavonóis, ésteres tartáricos, compostos com atividade antioxidante, pH, cor e capacidade de retenção de água e óleo do bagaço de malte proveniente do processo de produção da cerveja pilsen. Eles concluíram que a secagem em temperaturas até 80°C pode aumentar a estabilidade do produto sem impactar significativamente os parâmetros avaliados. Mesmo após a secagem, o bagaço manteve importantes concentrações de polifenóis e compostos com atividade antioxidante.

A secagem ao sol é uma prática vantajosa, uma vez que garante a secagem a baixas temperaturas e é mais economicamente viável que a desidratação com altas temperaturas.

Um fator que também deve ser levado em consideração é o armazenamento do bagaço após a secagem. O local de armazenagem deve apresentar adequada ventilação e proteção contra umidade e deve-se evitar que o produto fique armazenado além de seu prazo ideal de estocagem. Faccenda (2015) estudou a eficiência da desidratação do resíduo úmido de cervejaria ao sol e o efeito do armazenamento do resíduo desidratado sobre sua qualidade nutricional. Ela chegou ao resultado que a desidratação do resíduo úmido por 31h, sendo 16h de exposição direta ao sol com temperatura média de 25,6°C foi eficiente para atingir um teor de matéria seca de 949,85 g/kg, partindo de um valor inicial de 153 g/kg. O acondicionamento do resíduo seco em bolsas e armazenamento em galpão coberto por um longo período de 180 dias não comprometeu a sua qualidade e composição. Algumas oscilações foram apresentadas nos nutrientes, mas a autora atribui este fato

à heterogeneidade do produto. A degradabilidade ruminal da proteína foi reduzido com o tempo de armazenamento, mas a digestibilidade total da proteína não foi influenciada.

3.4.2.1 Desvantagens do uso de bagaço de malte para a alimentação animal

Apesar das vantagens do uso dos resíduos de cervejaria na alimentação animal, também foi constatado que o uso incorreto e o armazenamento inadequado desses subprodutos podem levar estes animais a desenvolver enfermidades (BRUST et al., 2015).

Foram encontrados casos esporádicos de contaminação de subprodutos de cervejaria, incluindo o bagaço de malte, por cepas tóxicas de *Aspergillus clavatus* e suas micotoxinas durante o armazenamento do material, o que causou surtos de síndrome tremorgênica em ovinos e bovinos em diversos países. Os sintomas causados pela intoxicação pelo fungo incluem tremores musculares, hiperestesia, ataxia e paralisia progressiva e a taxa de letalidade, que inclui animais mortos de forma espontânea ou que foram sacrificados, varia de 30 a 100% (HUMPHREYS, 1988; GILMOUR et al., 1989; LORETTI et al., 2003. KELLERMAN et al., 2005; BEZERRA JR et al., 2009).

A ingestão excessiva de bagaço de malte também pode provocar quadros de acidose ruminal típica com laminite (CALDAS, 2011). As manifestações clínicas de acidose ruminal variam com o tipo e quantidade de alimento ingerido, bem como o intervalo de tempo desde o consumo do alimento (UNDERWOOD, 1992a). Os sintomas desta enfermidade podem incluir anorexia, incoordenação, intranquilidade, inapetência, tremores musculares, diarreia, cólicas, ranger de dentes, queda, interrupção da produção de leite, depressão, decúbito permanente, desidratação acompanhada de enoftalmia e toxemia e poliúria que pode progredir para anúria. Os animais gravemente acometidos e sem tratamento morrem em 24 a 48h (DIRKSEN 1981, 2005; KROGH, 1963; UNDERWOOD, 1992a, 1992b).

Também foram associados casos de botulismo tipo B ao consumo de cevada. Os sintomas desta enfermidade são incapacidade de deglutir, excitação, tosse e regurgitação de saliva, água e conteúdo ruminal pelas bocas e narinas, língua flácida e parcialmente paralisada e sialorreia intensa. Os animais acometidos pela doença usualmente morrem em até uma semana por conta de desidratação e

pneumonia por falsa via (STÖBER, 2005).

Apesar dos casos reportados, por conta do seu baixo custo e manutenção e alta disponibilidade, o uso na alimentação animal continua sendo uma alternativa interessante para o descarte do bagaço de malte. Alguns cuidados básicos quanto à quantidade administrada, armazenamento, manejo e vacinação dos animais (no caso do botulismo) são capazes de impedir a ocorrência dessas doenças (BRUST et al., 2015).

3.4.3 Biogás

A digestão anaeróbia ou biometanização de resíduos agrícolas, alimentares e lodo do tratamento de efluentes tem sido implementada com sucesso para a produção de energia renovável. Neste processo, bactérias fermentativas hidrolisam os polissacarídeos, proteínas e lipídios presentes nestes resíduos, produzindo, ao final do processo, biogás, composto principalmente por gás metano. As condições ótimas para a formação do metano são 35 a 37°C e pH próximo de 7 (LIMA et al., 2001).

Alguns pesquisadores estudaram o uso de subprodutos de cervejaria como mono-substrato ou em combinação com outros substratos na produção de biogás através da digestão anaeróbia.

Vitanza et al. (2016) estudaram o potencial bioquímico de metano produzido a partir de bagaço de malte chegando a uma produção de biogás de 429 mlCH₄.gSV⁻¹ com 52,4% de metano. Os valores encontrados pelos autores são condizentes com os reportados na literatura para diferentes materiais orgânicos, o que indica o potencial do bagaço de malte para a produção de biogás.

Oliveira, Alves e Costa (2018) estudaram o volume de metano produzido por sólidos voláteis do substrato (Potencial Bioquímico de Metano - PBM) do bagaço de malte, do excedente de levedura e de ambos juntos por meio da co-digestão. Eles encontraram valores de PBM de 301 ± 5 L kg⁻¹ para o bagaço de malte, 515 ± 4 L kg⁻¹ para o excedente de levedura e 411 L kg⁻¹ para a mistura de ambos. Os autores justificaram a maior PBM do excedente de levedura pela sua maior DQO solúvel e a menor PBM do bagaço de malte por conta da presença de celulose, que pode prejudicar a degradação anaeróbia. Apesar do bagaço de malte apresentar resultado inferior aos outros materiais testados, o estudo indica que ele é viável para a produção

de metano, ainda mais se misturado ao excedente de levedura.

Malakhova et al. (2015) examinaram a produção de biogás a partir do bagaço de malte, utilizando como co-substratos folhas e caules moídas de alcachofra de Jerusalem (*H. tuberosus* L.). Utilizando apenas o bagaço como substrato, a produção de metano foi de 53,6%. Já adicionando os co-substratos, conseguiram chegar a 61,0%. As condições ótimas foram termofílicas e com a mistura de co-substrato em 100 g/L.

3.4.4 Biopigmentos

Pigmentos são importantes para garantir a atratividade de produtos comercializáveis ao consumidor. Eles são utilizados nos mais diferentes mercados, como o alimentício, têxtil, cosmético e farmacêutico. Pigmentos provenientes de fontes naturais, como plantas, animais, como insetos e microrganismos, como fungos, bactérias, leveduras e algas, estão ganhando popularidade como uma alternativa aos pigmentos sintéticos convencionais. Isso está acontecendo porque alguns problemas de toxicidade foram reportados tendo os pigmentos convencionais como causa. Os precursores destes pigmentos podem apresentar afeitos cancerígenos perigosos para os trabalhadores da fábrica que os produz e os resíduos de sua produção muitas vezes não são biodegradáveis. Logo, estão sendo estudadas formas de utilizar da biotecnologia para proporcionar um aumento de escala de produção de biopigmentos naturais (VENIL, LAKSHMANAPERUMALSAMY, 2009; UNAGUL et al., 2005).

Pigmentos microbianos são interessantes devido à sua estabilidade e disponibilidade de tecnologias de cultivo (RAISAINEN et al., 2002; KIM et al., 1999; PAREKH, 2000). Os microrganismos podem crescer com facilidade e rapidez em um meio de cultura barato e se adaptar a diferentes condições climáticas. Há uma variedade de cores que podem ser produzidas a partir de microrganismos e estes pigmentos geralmente são biodegradáveis (DUFOSSE, 2009; VENIL et al, 2013). Além disso, os microrganismos podem ser geneticamente modificados, utilizando da engenharia genética, para aumentar a produção.

A produção de pigmento microbiológico pode ser afetada por diversos fatores, como temperatura, pH, tipo de fermentação, umidade, aeração, quantidade de minerais e nitrogênio e pela fonte de carbono do meio de fermentação - glicose, frutose, maltose, lactose, galactose etc. (KUMAR et al, 2015).

A composição do meio afeta o crescimento de microrganismos, uma vez que o substrato deve suprir todos os nutrientes necessários aos fungos (XU et al., 2006). O bagaço de malte pode ser utilizado como substrato para a produção de biopigmentos. Oliveira et al (2016) estudaram o reaproveitamento do bagaço de malte em diferentes concentrações na fabricação de pigmentos naturais produzidos por *Monascus ruber* CCT 3802, através da fermentação em estado sólido. Eles concluíram que o bagaço de malte pode ser utilizado para obtenção de pigmentos de *Monascus ruber*, uma vez que ele influencia diretamente o crescimento radial deste microrganismo. Maiores velocidades de crescimento radial foram obtidas utilizando 40 g.L⁻¹ de bagaço no meio.

Oliveira et al. (2019) avaliou o uso de bagaço de malte em diferentes concentrações como substrato para a produção do pigmento piocianina por *Pseudomonas aeruginosa*. A piocianina é um pigmento fenazínico fluorescente, solúvel em água, de cor azul brilhante, produzido exclusivamente por 90-95% das cepas de *P. aeruginosa*. Os autores observaram que, em duas (TGC02 e TGC04) das quatro cepas testadas, a concentração de piocianina aumentou proporcionalmente à porcentagem de bagaço de malte adicionada ao meio, o que contribuiu para o aumento das concentrações de pigmento em até aproximadamente 70%, em relação ao controle, com valores variando de 21 a 58 µg/ml. Nas outras duas cepas (TGC03 e RX10), a adição de bagaço de malte não estimulou a produção do biopigmentos, o que indica que estas linhagens não apresentam os genes responsáveis pela conversão das fenazinas intermediárias em piocianina. O resultado do estudo mostrou, então, que o resíduo de cervejaria é uma opção economicamente viável e ecologicamente correta de adjuvante no processo de produção de piocianina em meio sintético.

3.4.5 Biossorventes

É de extrema importância desenvolver tecnologias capazes de eliminar os contaminantes presentes em líquidos residuais antes de serem devolvidos à natureza ou reutilizados para outros fins não potáveis. A adsorção ganhou importância como um processo de separação e purificação em diversos setores. É um dos processos mais eficientes em reduzir os níveis de compostos tóxicos no tratamento de águas e águas residuárias (NASCIMENTO et al., 2020).

No tratamento de efluentes da indústria têxtil, que possui um dos efluentes mais complexos de serem tratados, uma vez que os corantes presentes nestes efluentes, mesmo em pequenas quantidades conferem cor intensa, a adsorção é uma das técnicas que vem sendo empregadas com sucesso (AKSU, 2005; FOUST, 1982). A presença de corantes nos efluentes afeta a estética, transparência da água e solubilidade dos gases nos corpos receptores, reduzindo a capacidade de regeneração dos corpos hídricos por conta da redução da penetração da luz solar, o que prejudica o processo de fotossíntese (GUARANTINI, 2000).

Adsorção se caracteriza pela transferência dos constituintes de uma fase fluida para a superfície de uma fase sólida através de mecanismos físicos ou químicos (RUTHVEN, 1994; FOUST et al., 1982).

A biossorção surgiu como um aperfeiçoamento do processo de adsorção, com menor custo e impacto ambiental. Volesky (2003) comparou o custo de tratamento de um efluente industrial através de biossorção e troca iônica, comprovando que o gasto com resinas para troca iônica é até 10 vezes maior do que o resíduo da remoção por biossorção e ambos possuem eficiências equivalentes.

A biossorção pode ser definida como a capacidade de certas biomassas se ligarem e concentrarem íons e outras moléculas de soluções aquosas. Os grupos funcionais relacionados a biossorção por possuírem afinidade com íons metálicos são acetaminas, aminoácidos, carbonila, fenóis, aminoácidos e amidas (PARK et.al, 2010).

Para escolher o material biossorvente ideal, é necessário analisar suas características físico-químicas, uma vez que a taxa de transferência de massa depende da morfologia do material, o que engloba o volume, área específica e distribuição de poros e grupos funcionais na superfície (NASCIMENTO et al., 2020).

Alguns exemplos de materiais que estão sendo estudados como biossorventes na remoção de corantes têxteis são: casca de banana, quitosana, casca de laranja, plantas aquáticas, fibras de algodão, serragem de madeira, bagaço de cana, casca de arroz, sabugo de milho e coco (CUNHA, 2014).

O bagaço de malte recentemente também vem sendo bastante estudado para esta finalidade, devido a seu baixo custo e pela sua estrutura rica em compostos adsorventes (SULYMAN et.al. 2017). Junkes et al. (2019) avaliariam a capacidade de utilização do bagaço de malte como biossorvente na remoção do corante azul royal tiafix MER 100% de efluente de lavanderia têxtil. Os

resultados obtidos indicam a eficiência do bagaço de malte na adsorção do corante em questão. O melhor resultado de adsorção de turbidez e cor ocorreu em temperatura 50 °C, tempo de contato 30 minutos, pH 1 e 6 gramas de adsorvente.

Tizziani (2021) estudou a influência de dois métodos de secagem, estufa com circulação de ar e micro-ondas, da temperatura e da potência empregadas, na capacidade de adsorção de corante Neolan Preto WA em bagaço de malte. O resultado deste estudo sugere que a secagem do bagaço de malte na etapa de pré-tratamento seja realizada em estufa, ao invés de em micro-ondas, já que alteram o tamanho e distribuição de poros ou grupos funcionais na superfície do bagaço, propriedades estas inerentes à adsorção.

3.4.6 Carvão ativado

Carvões ativados também são eficientes como adsorventes. O carvão vegetal é um material carbonáceo com superfície porosa bem desenvolvida e cuja distribuição de tamanho, área superficial e volume de poros, garante alta capacidade de adsorção (SOARES, 1998).

A produção de carvão utilizando biomassa é uma alternativa mais sustentável e barata à queima ou carbonização de madeira (CORDEIRO, 2011). Existem alguns estudos que envolvem a produção de carvão a partir de bagaço de malte.

Lima e Anschau (2019) caracterizaram o carvão vegetal obtido a partir de bagaço de malte ativado quimicamente com ácido fosfórico, hidróxido de potássio e acetato de sódio em concentrações de 1 a 3%. Elas verificaram que o bagaço de malte apresenta as características necessárias para ser utilizado como matéria-prima viável para obtenção de carvão ativado e para ser utilizado como excelente adsorvente. Todos os testes indicaram que a porosidade do carvão de bagaço de malte é capaz de absorver o corante azul de metileno e que o carvão apresenta pH neutro, não sendo necessário o uso de reagentes para neutralizar o efluente, o que tornaria o processo mais caro.

Franciski (2018) estudou a utilização de bagaço de malte como precursor para a obtenção de biocarvão e biocarvão ativado por CO₂ na remoção do corante azul de metileno de meio aquoso. Ele concluiu que o processo de pirólise foi suficiente para remover o material volátil, mas não para aumentar a área superficial e o volume

dos poros. A ativação adicional com CO₂, então, foi necessária para tornar o biocarvão um bom adsorvente, com área superficial de 80 m² g⁻¹. No teste da remoção do corante, todos os materiais analisados (bagaço de malte, biocarvão e biocarvão ativado por CO₂) obtiveram pH ótimo de 6,5 com dosagem de adsorvente de 1 g L⁻¹. O biocarvão ativado foi o mais eficiente na remoção do azul de metileno, atingindo uma capacidade de adsorção de 161 mg g⁻¹.

3.4.7 Alimentação humana

A indústria alimentícia está cada vez mais buscando atender a demanda dos consumidores por alimentos que promovam saúde, bem-estar e a prevenção de risco de doenças, ao mesmo tempo em que garantem qualidade sensorial. Uma dieta rica em fibras pode reduzir os riscos de doenças cardiovasculares e gastrintestinais, câncer de colón, hipercolesterolemia, diabetes e obesidade, além de atuar na absorção de glicose sérica pós-prandial em dietas ricas em carboidratos e estar inversamente associada ao ganho de peso. A utilização de resíduos da indústria cervejeira na indústria de alimentos é uma oportunidade de agregar valor nutricional aos produtos e ao mesmo tempo, reduzir problemas ambientais oriundos do descarte de tais resíduos (BURTON-FREEMAN, 2000; CÓRDOVA et al., 2005; GIULIANI et al., 2019).

A composição do bagaço de malte, rica em fibras, proteínas e açúcares, o torna propenso a ser utilizado na indústria alimentícia (DENKE, 2000). Além disso, o malte de cevada possui elevados teores de antioxidantes por conter compostos bioativos, como compostos fenólicos e vitamina E (REINOLD, 1997). Foi comprovado que o bagaço de malte desempenha um papel na prevenção de certas doenças, incluindo prisão de ventre, colesterol alto e colite ulcerativa (STOJCESKA, 2019). Além disso, as proteínas hidrolisadas do bagaço de malte podem ser utilizadas como ingrediente dietético funcional, auxiliando no controle da diabetes tipo 2 e da hipertensão, devido à sua atividade inibitória da dipeptidil peptidase-IV (DPP-IV) e da enzima conversora de angiotensina (ECA), que pode inibir hormônios responsáveis por potencializar a secreção de insulina (CONNOLLY et al., 2017).

Entretanto, deve-se tomar cuidado com a quantidade de bagaço de malte adicionada nas receitas, uma vez que grandes quantidades provocam alteração no sabor, no aroma e nas propriedades físicas do produto (WEEGE et al., 2017)

O valor nutricional do bagaço de malte pode ser afetado pelo processo realizado, tipo de cerveja feita, tipo de malte utilizado, origem dos grãos e adição de outros cereais (DRAGONE, 2010).

Alguns estudos foram realizados buscando avaliar a empregabilidade do bagaço de malte na alimentação humana, principalmente em produtos de panificação. Giuliani et al. (2019) visou elaborar e avaliar a viabilidade para produção e comercialização de um bolo rico em fibras feito utilizando diferentes concentrações de bagaço de malte. Para isso, foram realizadas três formulações que diferiam na quantidade de bagaço de malte e farinha de trigo adicionadas (25% de bagaço e 75 de farinha de trigo, 50% de cada e 75% de bagaço e 25 de farinha de trigo) e foi realizada uma análise sensorial nas amostras com 30 provadores não treinados. Os resultados obtidos na análise sensorial mostraram uma aceitabilidade satisfatória em todas as formulações de bolo, sendo que a receita com 50% de bagaço de malte for a preferida, com aceitabilidade de 90%.

O estudo de Weege et al. (2017) teve como objetivo avaliar os aspectos nutricionais e características funcionais do biscoito feito com adição de bagaço de malte Weizen – que contém Malte Pilsen Alemão Globalmalt, Malte Chateau Wheat Blanc e Malte Chateau Munich. A proporção de malte utilizada foi de 20% de farinha de bagaço de malte em relação à farinha de arroz. O resultado deste experimento foi um biscoito rico em fibras e proteínas. Ele apresentou 7,75% de proteína por 100g e tem 0,28mg/kg de polifenóis, realizando ação antioxidante.

Kuiavski et al (2020) elaboraram pães com diferentes concentrações de farinha de malte (0%, 20%, 40% e 60%) e avaliaram suas características sensoriais e físico-químicas. Utilizou-se bagaço de malte úmido para aproveitar a água proveniente da malteação, e sem trituração, pois o objetivo dos autores era obter um pão mais nutritivo, com o sabor característico do malte e preservar grânulos maiores, para gerar um pão com aspecto rústico e artesanal. A pesquisa a respeito das características sensoriais foi feita com 60 provadores, de ambos os sexos, com idade entre 18 e 50 anos a respeito da aparência, aroma, sabor, textura e cor do produto. A formulação que obteve maior aceitação global foi a com adição de 20% de bagaço de malte e esta, então, foi escolhida para as análises físico-químicas. A análise físico-química apontou um aumento no teor de cinzas do pão com adição do bagaço de malte, que está relacionada a minerais como potássio, ferro, cálcio, fósforo, magnésio, enxofre e sódio, além de um aumento no teor de fibras e proteínas. A aceitabilidade da análise

sensorial e o desempenho nas análises físico-químicas foram altos, indicando que o produto tem boas probabilidades de obter sucesso em testes de mercados.

Além da indústria de panificação e confeitaria, o bagaço de malte vem sendo estudo no enriquecimento de outros tipos de alimentos, como na indústria de carnes. Os consumidores estão mudando seus hábitos alimentares e dando preferência a alimentos com níveis menores de açúcar, sódio e gordura (CARVALHO et al., 2018).

Saraiva et al. (2019) buscaram avaliar os efeitos e da adição de bagaço de malte, como substituto da gordura, nas características físico-químicas de hambúrgueres, que foram preparados com carne bovina, água gelada, cloreto de sódio e gordura suína e bagaço de malte em concentrações variadas. As autoras chegaram à conclusão de que o bagaço de malte foi eficiente em reduzir o teor de gordura e valor calórico dos hambúrgueres, com um aumento no teor de proteínas e atividade oxidante. A análise sensorial mostrou que a adição de bagaço não influenciou significativamente os atributos do hambúrguer.

Em relação especificamente a extração de proteínas, nos últimos anos, alguns estudos vêm sendo realizados utilizando o bagaço de malte como substrato. (PAULA, PRENTICE-HERNÁNDEZ, 2020). Proteínas são indispensáveis na dieta humana e os métodos atuais de produção, focados principalmente em proteínas de origem animal, não são sustentáveis considerando o aumento populacional e da demanda de alimentos (HARWATT et al., 2017). Segundo Ranganathan et al. (2016), para resolver este problema, é necessário substituir parte do consumo de proteínas de origem animal em outras formas de proteína. Neste cenário, o bagaço de malte entra como uma possível alternativa.

Paula e Prentice-Hernández (2020) estudaram o efeito da tecnologia de ultrassom e agitação na extração proteica do bagaço de malte. O ultrassom auxilia a extração de compostos no processamento de alimentos por conta de sua facilidade de manuseio, consumo reduzido de solvente, custos menores e por evitar a desnaturação, degradação de proteínas e perda de propriedades funcionais, causadas pelo efeito de altas temperaturas. Eles concluíram que o uso do ultrassom realmente resulta em maior quantidade de proteínas extraídas (32 mg g^{-1}) quando comparado aos testes realizados somente com agitação ($18,1$ e $13,8 \text{ mg g}^{-1}$).

3.4.8 Espumas biodegradáveis

O consumo de embalagens plásticas feitas a partir de petróleo se tornou um grande problema ambiental. A numerosa produção e utilização de plásticos leva ao volumoso descarte e tem um impacto enorme ao meio ambiente (LANDIM et al., 2016); Embalagens produzidas de fontes renováveis são uma alternativa às embalagens plásticas convencionais.

Materiais feitos a partir de amido tem sido utilizados para produzir materiais biodegradáveis por conta de sua abundância, baixo custo, densidade e toxicidade e por ser naturalmente renovável. (STEVENS et al., 2010). Estes materiais feitos unicamente de amido, entretanto, apresentam algumas desvantagens, como hidrofobicidade e propriedades mecânicas ruins (Mali et al., 2010).

Existem alguns estudos que analisam o uso de fibras lignocelulósicas para reforçar o amido em matrizes poliméricas, uma vez que eles reduzem a rigidez do material e aumentam sua biodegradabilidade, alterando suas propriedades físicas e mecânicas. Além de que, a similaridade estrutural das moléculas de amido com a celulose garante uma interação forte entre elas (MELLO, MALI, 2014).

Não existem muitos estudos a respeito do uso de bagaço de malte como reforço de materiais poliméricos. Mello e Mali (2014) investigaram a elaboração de bandejas de espuma feitas a partir de mandioca e bagaço de malte e os efeitos deste resíduo de cervejaria nas características físico-químicas, mecânicas e microestruturais do material. As espumas foram preparadas com diferentes concentrações de bagaço de malte (0-20% em peso). As bandejas produzidas com 5 e 10% de bagaço de malte apresentaram os maiores rendimentos de produção. Cada bandeja produzida no estudo apresentou boa aparência, expansão adequada e distribuição homogênea do bagaço de malte.

3.4.9 Compostos fenólicos

Compostos fenólicos são substâncias que apresentam anel aromático contendo um ou mais substituintes hidroxílicos (BRECHT et al, 2010). O corpo humano não é capaz de sintetizar compostos fenólicos e, por conta disso, a ingestão destes elementos é de extrema importância (LEONG; OEY, 2012). Compostos fenólicos participam na proteção contra certos tipos de câncer e outras doenças,

funcionam como antioxidantes em alimentos, o que pode aumentar sua vida útil, e promovem alterações nas propriedades reológicas de sorvetes. Resíduos de cervejaria são ricos em compostos bioativos, como compostos fenólicos (SANTOS et al., 2017).

Dillmann (2018) verificou a quantidade de compostos fenólicos que poderiam ser extraídos de uma amostra de bagaço de malte submetida à secagem em estufa e moagem. Ele obteve atividade antioxidante ótima (44,1%) ao submeter a amostra a 10 minutos de ultrassom. Dillmann concluiu que o bagaço de malte é uma opção viável para produção de compostos fenólicos em larga escala pela viabilidade econômica e grande disponibilidade do resíduo.

Fernandes et al (2019) estudou a produção de compostos fenólicos a partir da fermentação do bagaço de malte utilizando *Aspergillus ibericus* e posterior hidrólise enzimática utilizando as enzimas produzidas. Ele obteve um aumento considerável na extração de compostos fenólicos e atividade antioxidante quando comparada a matéria não hidrolisada. Ele comprovou que os fungos envolvidos no processo de fermentação produzem enzimas responsáveis pela degradação de carboidratos que ampliam a quantidade de compostos fenólicos liberados, garantindo a hidrólise enzimática.

3.4.10 Goma xantana

A goma xantana é um heteropolissacarídeo extracelular de alta massa molecular muito usado como agente reológico, espessante, estabilizante e emulsificante nas indústrias alimentícia, de cosméticos, de higiene, farmacêutica e petrolífera, por conta de sua alta viscosidade em baixas concentrações, pseudoplasticidade, compatibilidade com diversos ingredientes, atoxidade e estabilidade da viscosidade em diferentes temperaturas, pHs e na presença de sais (KENNEDY, BRADSHAW, 1884; ROSALAM, ENGLAND, 2006; SOUZA, VENDRUSCULO, 1999).

Na indústria alimentícia, a goma xantana tem sido usada com diversos propósitos, como a melhora de textura, palatabilidade e aparência, sem influenciar no aroma paladar ou valor nutricional (LUVIELMO, SCAMPARINI, 2009; PALANIRAJ, JAYARAMAN, 2011; ROSALEM, ENGLAND, 2006).

A goma xantana é compatível com a maioria dos coloides usados na

indústria de alimentos, como o amido, por exemplo, e, além disso, retarda alguns fenômenos físicos como a sedimentação de partículas sólidas, a cristalização da água ou do açúcar e a agregação ou desagregação de partículas dispersas. Por conta destes fatores, ela é amplamente utilizada como estabilizante de alimentos (FREITAS et al., 1996; ACHAYUTHAKAN, SUPHANTHARIKA, 2008; WEBER et al., 2008).

Na indústria farmacêutica, a goma xantana é amplamente usada em emulsões ou suspensões, impedindo a separação de ingredientes não solúveis, em comprimidos, na retardação da liberação do ativo, em pastilhas, no prolongamento do tempo de contato do composto ativo, e como estabilizante, espessante de xaropes, cremes e emulsões (GARCÍA-OCHOA et al, 2000; PALANIRAJ, JAYARAMAN, 2011; LUVIELMO, SCAMPARINI, 2009).

Na indústria de cosméticos, a goma xantana é utilizada, devido à sua pseudoplasticidade, para fornecer uniformidade a cremes e géis dentais, facilitando sua saída do tudo, além de aumentar a viscosidade e propriedade de escoamento de pastas, cremes e shampoos e agir como agente suspensor de compostos que contenham substâncias insolúveis, como pigmentos (PALANIRAJ, JAYARAMAN, 2011; LUVIELMO, SCAMPARINI, 2009).

Na indústria petrolífera a goma xantana é o polímero mais utilizado. Por conta de sua alta viscosidade em baixas concentrações, pseudoplasticidade e estabilidade da viscosidade em diferentes condições de salinidade, temperatura e pH, ela se tornou muito utilizada na extração e recuperação do petróleo e como fluido de perfuração de poços (BORGES et al., 2009; SHAH, ASHTAPUTRE, 1999; COTTRELL, KANG, 1978).

A goma pode ser utilizada ainda na agricultura, como estabilizante em pulverizadores para fungicidas, herbicidas, pesticidas e fertilizantes, como estabilizante de suspensões de leite em pó que substituem o leite materno na nutrição animal (PALANIRAJ, JAYARAMAN, 2011), e como adjuvante em vacina contra herpes suína (ROOS et al., 2009).

O Brasil ainda não produz goma xantana a níveis comerciais, apenas voltado a pesquisa, sendo então dependente da importação deste produto. O país possui, entretanto, potencial econômico e científico para a produção industrial deste produto, uma vez que possui as matérias primas básicas para sua produção e recuperação a um custo mais baixo comparado a outros países (açúcar, extrato de levedura e álcool), o que coloca o Brasil em uma situação competitivamente favorável

em comparação a países que dominam esta tecnologia, como China, Áustria, Estados Unidos, Japão e França (MENEZES, 2013).

As etapas da produção deste biopolímero envolvem o preparo do pré inoculo, inóculo, fermentação, remoção de células, precipitação, separação, purificação e secagem. A qualidade de produção de goma xantana depende da linhagem do microrganismo utilizado, da composição do meio e das condições de fermentação, como temperatura, pH e velocidade de aeração e agitação. O meio de cultura utilizado geralmente contém glicose ou sacarose como fonte de carbono, extrato de levedura, peptona e nitrato de amônio como fonte de nitrogênio e alguns minerais (CASAS et al., 2000; GARCÍA-OCHOA et al, 2000).

O principal problema que desacelera a comercialização deste produto são os elevados custos de processamento e do substrato. Portanto, a utilização de resíduos agroindustriais como substrato para a produção da goma xantana como uma forma de aumentar a viabilidade econômica, se torna uma alternativa interessante (FREITAS, ALVES, REIS, 2011; PALANIRAJ, JAYARAMAN, 2011).

O bagaço de malte hidrolisado pode ser um substrato adequado, uma vez que é de baixo custo e não necessita suplementos adicionais para o processo fermentativo. Menezes (2013) analisou, através do planejamento multifatorial, o efeito da concentração de resíduo de malte, extrato de levedura, sacarose, fosfato de amônio, fosfato (mono)ácido de potássio e agitação na produção de goma xantana utilizando a cepa *Xanthomonas campestris pv. campestris* IBSBF. A autora verificou que a utilização de bagaço de malte hidrolisado é viável por apresentar aspectos físico-químicos adequados e uma produção de goma xantana de até 11,03 g L⁻¹, produção esta que ficou, em média, três a quatro vezes superior ao descrito na literatura utilizando a sacarose ou outros resíduos como substrato. Ela concluiu que o resíduo de cervejaria hidrolisado pode ser considerado um substrato adequado, de baixo custo e que minimiza os danos ambientais na produção de goma xantana.

3.4.11 Substrato para fungos

Fungos são microrganismos extremamente importantes na biotecnologia, utilizados na indústria alimentícia, na produção de produtos fermentados e bebidas alcoólicas, na indústria farmacêutica, no tratamento biológico de efluentes, na produção de enzimas de interesse industrial, na biotransformação e também

contribuem para manter o equilíbrio do meio ambiente, ao decompor restos vegetais e animais, degradar substâncias tóxicas e ajudar na proteção e crescimento de plantas.

Dentro do reino Fungi, existem três grupos distintos de fungos: os cogumelos (considerados fungos macroscópicos), os filamentosos e as leveduras (considerados fungos microscópicos). Entre os fungos filamentosos, os gêneros que ganharam mais destaque são o *Aspergillus*, por conta de sua utilização na produção de proteínas recombinantes, e o *Monascus*, por ser fonte de corantes naturais e redutores de colesterol. Dentro do grupo de leveduras, a *Saccharomyces cerevisiae* obteve maior destaque pelo seu amplo uso em processos alimentícios. Na categoria dos cogumelos, diversas espécies ganharam destaque por conta de seus efeitos antivirais, antibacterianos, antiparasitários, antitumorais, anti-hipertensivos, anti-ateroscleróticos, hepatoprotetores, antidiabéticos, anti-inflamatórios e moduladores do sistema imune (ABREU et al., 2015). Além disso, o interesse pelo uso de cogumelos na gastronomia se intensificou devido às suas características culinárias (paladar e aroma) e seu valor nutricional (CONDÉ; DE OLIVEIRA; DE OLIVEIRA, 2017). Foi comprovado que a qualidade nutricional e medicinal dos cogumelos depende do tipo de substrato no qual ele foi cultivado (SAAD; LIMA; ANDRADE, 2018; RICARDO et al., 2017). Algumas espécies de fungos lignolíticos, como o *Pleurotus ostreatus*, são capazes de degradar resíduos agrícolas, agroindustriais e agroflorestais (MENEZES; BARRETO, 2015).

Neste contexto, o bagaço de malte vem sendo estudado como substrato no cultivo de diversas espécies de fungos, como uma maneira de diminuir os impactos ambientais e os custos de produção e gerar produtos de valor agregado.

Silva et al. (2021b) avaliaram o crescimento micelial de duas linhagens (LC e SB) do cogumelo comestível *Pleurotus ostreatus* (popularmente conhecido como Shimeji) em meios de cultura suplementados com bagaço de malte em diferentes proporções (0, 5, 10 e 20%, em base seca), utilizando como critério o crescimento radial e a caracterização química do substrato. Os autores chegaram à conclusão de que o *P. ostreatus* foi capaz de se desenvolver em todos os substratos suplementados com o bagaço de malte, comprovando eficácia do uso deste resíduo como substrato. O substrato com 5% de bagaço de malte atingiu o melhor desenvolvimento e a linhagem SB apresentou crescimento micelial maior que a linhagem LC. O estudo salienta ainda que é importante considerar as necessidades de cada linhagem,

analisar as quantidades de todos os componentes do substrato e adequar as proporções de bagaço a serem utilizadas nos substratos.

O trabalho de Rossi e Oliveira (2020) também teve como objetivo avaliar o cultivo de *P. ostreatus* utilizando bagaço de malte como substrato, mas neste caso, em diferentes formulações de substrato contendo casca de arroz, serragem e bagaço de malte. O resultado do estudo mostrou que o fungo *P. ostreatus* se mostrou capaz de colonizar todas as formulações, embora algumas combinações se mostraram mais eficientes que outras. A produtividade do cultivo de cogumelos é medida através da Eficiência Biológica (EB), que consiste na massa de cogumelos frescos e a massa seca de substrato original. O valor mínimo de EB para cultivo comercial de *P. ostreatus* é de 50%. As formulações contendo 25 e 40 % de bagaço de malte apresentaram eficiências próximas à EB mínima para cultivo comercial, comprovando que, com o melhor controle das condições do meio, o bagaço de malte tem potencial econômico para uso como substrato deste fungo. Entretanto, as formulações contendo 55% de bagaço de malte apresentaram EB quase nula e as contendo 70% não produziram nenhum cogumelo, o que indica que é necessário controlar a quantidade de bagaço adicionada.

Silva et al. (2021a) estudou a produção de pectinase por duas espécies de basiomicetos (*Pleurotus djamor* e *Hypsizygus ulmarius*) utilizando bagaço de malte como substrato, em cultivo submerso, avaliando a influência das variáveis concentração de substrato, temperatura e agitação. Utilizando *P. djamor*, as autoras chegaram a valores ótimos de atividade enzimática da pectinase (2,544 U/mL) com uma concentração de bagaço de malte de 30 g/L, temperatura de 29°C e agitação 75 rpm, e utilizando *H. ulmarius*, alcançaram atividade enzimática de 2,367 U/mL com 30 g/L de bagaço, 24°C e 150 rpm. Logo, este estudo também sugere que o bagaço de malte pode ser utilizado como fonte de carbono no cultivo de cogumelos, neste caso, visando a produção de pectinase. Este estudo tem grande relevância, uma vez que as pectinases têm grande importância comercial, sendo utilizadas nas indústrias alimentícia, na clarificação de vinhos e sucos, fermentação, concentração de chá, cacau e café e extração de óleo vegetal, têxtil, de papel e no tratamento de água (OUMER, ABATE, 2017; SUDEEP et al., 2020).

Falando de fungos filamentosos, Lemos (2021) examinou o cultivo de amostras de *Aspergillus ssp.* (UCP 1275, UCP 6119, UCP 1295 e UCP 1261) isolados de solos da Caatinga nordestina, utilizando o processo de fermentação submersa em

meio contendo amido de milho como fonte de carbono e em meio contendo resíduo de bagaço de malte (10 g/L), visando à produção de amilase. O gênero *Aspergillus* possui elevado potencial de conversão de macromoléculas em produtos biotecnológicos e, por isso, foi escolhido para este estudo. Lemos descobriu que, embora todas as cepas estudadas demonstraram potencial biotecnológico para produção de amilase no meio contendo amido solúvel, houve algumas diferenças no índice enzimático dos ensaios com meio contendo bagaço de malte, sendo que a cepa do *Aspergillus ssp.* UCP1275 demonstrou máximo potencial de metabolização do resíduo de bagaço de malte em amilase. Isso demonstra a necessidade de avaliar com cuidado a linhagem escolhida para os processos biotecnológicos.

4. METODOLOGIA

4.1 Revisão bibliográfica

Foi realizado um levantamento na literatura de materiais oriundos de monografias, dissertações, teses, livros, artigos, jornais, boletins, revistas científicas, publicações em periódicos, normas e legislações, entre outros, relacionados às possíveis aplicações de produtos de bagaço de malte, sejam eles produzidos tanto com o bagaço em si quanto com produtos de hidrólise e fermentação.

Como base de dados para as pesquisas, foram utilizadas as plataformas: Portal de Periódicos CAPES, Portal CRUESP, Portal de Busca Integrada da USP, Biblioteca Digital de Dissertações e Teses, Sistema de Bibliotecas da UFPR, Web of Science, Science Direct, Scielo, Scopus e Google Acadêmico. Materiais mais recentes, com informações mais atualizadas, tiveram preferência na escolha de referências.

Após a escolha das referências, foi feita uma análise de todas as informações e de todos os produtos levantados. A partir desta análise, foi escolhido o etanol de segunda geração para um estudo aprofundado e construção da síntese de processo.

4.2 Detalhamento da produção de etanol 2G e síntese do processo

Para o detalhamento da produção de etanol 2G a partir de bagaço de malte, foram mapeados os principais macroprocessos envolvidos e, para cada um deles, a partir de revisão bibliográfica, foram detalhadas as configurações de processo mais viáveis.

A partir deste detalhamento de todas as possíveis configurações, foram escolhidas as configurações mais interessantes, baseado na literatura, e foi construído o fluxograma do processo que contém os principais *inputs* e *outputs*, as operações unitárias escolhidas, as possíveis opções de reciclagem de matéria prima e oportunidades de venda dos subprodutos para diferentes indústrias.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

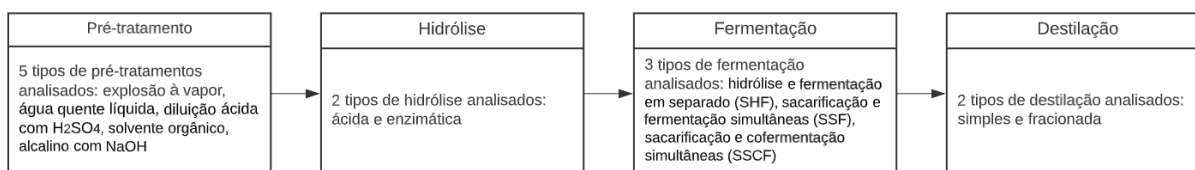
Após a análise de todos os possíveis subprodutos levantados nesta revisão bibliográfica, foi escolhido o etanol de segunda geração como escopo para o exercício de síntese de processo. Esta escolha foi feita devido à grande quantidade de estudos existentes que suportam a viabilidade deste processo e à tendência ao aumento de demanda deste produto. Morizono et al. (2018) comprovou, através de simulações nos preços que, apesar da baixa preferência pelo etanol em relação à gasolina no Brasil, a demanda de etanol é sensível a mudanças no preço da gasolina, seu principal concorrente. Aumentos no preço da gasolina implicam aumentos três vezes maiores na probabilidade de consumo do etanol, em relação a reduções em seu preço, ou seja, a população brasileira tende mais a consumir etanol caso o preço da gasolina esteja alto do que caso o preço do etanol esteja baixo. Em abril de 2022, o preço médio da gasolina no Brasil subiu a R\$ 7,27 de acordo com a ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), o maior patamar desde que o órgão começou a divulgar o levantamento semanal de preços, em 2004 (ECONOMIA UOL, 2022). Esta tendência de aumento de demanda indica a necessidade de alternativas à produção habitual de etanol a partir de cana-de-açúcar, como forma de aumentar a oferta do produto.

Além do uso como biocombustível, o etanol também possui potencial de aplicação na indústria farmacêutica, como antídoto para envenenamento por metanol ou etilenoglicol, neurólise, síndrome de abstinência alcoólica ou antisséptico, por exemplo (LE DARE, 2019).

Dentro da indústria de bebidas, o etanol ainda pode ser utilizado para a produção de Bebidas Alcoólicas Retificadas, a partir da adição de extratos e diluição em água (gin composto), redestilação com botânicos e diluição em água (gin destilado) ou filtração e destilação (vodka) (PAULEY, 2017).

As análises foram realizadas considerando quatro macroprocessos, que englobam as alternativas mais interessantes do ponto de vista de rentabilidade e eficiência, de acordo com a literatura. A Figura 4 apresenta os quatro processos e os métodos analisados.

Figura 4: Processo geral de produção de bioetanol a partir de materiais lignocelulósicos



Fonte: Própria Autoria

A seguir são detalhadas cada uma das possíveis opções para cada etapa do processo, bem como as matérias primas necessárias, especificações de produtos e restrições econômicas.

5.1 Pré-tratamento

A primeira macro etapa de um bioprocessamento de produção de etanol 2G é o pré-tratamento. Esta etapa é primordial no processo, pois a biomassa lignocelulósica, independentemente do tipo ou origem, possui uma recalcitrância à ação de enzimas hidrolíticas, as quais têm sido empregadas para obtenção de carboidratos monoméricos a partir dos polissacarídeos presentes no material. De fato, a estrutura complexa e fechada da matriz lignocelulósica leva à necessidade de um processamento preliminar para diminuir o efeito das barreiras físicas e químicas que dificultam e, conseqüentemente, diminuem o rendimento da etapa subsequente de hidrólise enzimática (MAURYA; SINGLA; NEGI, 2015; SILVA et al., 2011; LYND et al., 2005). Por isso, estudos têm mostrado que o pré-tratamento é a fase com maior significância e determinante no processo de obtenção do bioetanol a partir de lignocelulósicos (MASARIN et al., 2011; YANG; WYMAN, 2008; MAURYA; SINGLA; NEGI, 2015). Diante disso, os principais objetivos do pré-tratamento incluem aumentar porosidade da parede celular e melhorar a digestibilidade e acessibilidade das enzimas durante a sacarificação.

Para a realização do pré-tratamento, embora diversos métodos já tenham sido desenvolvidos, não há um universal tecnicamente e economicamente viável. Para a escolha de um pré-tratamento ideal, é preciso que a operação, além de cumprir com eficiência seu objetivo, tenha outras características desejáveis, tais como: baixo custo de capital e operacional, baixa degradação de açúcares, não formação de inibidores (compostos tóxicos), uso limitado de reagentes químicos e baixa demanda de

energia/água, bem como deve evitar a produção de resíduos e corrosão dos equipamentos (TAHERZADEH; KARIMI, 2008; MACHADO, 2013).

Os principais métodos de pré-tratamento empregados incluem físicos (moagem e trituração), químicos (ácidos, alcalinos e solventes), físico-químicos (explosão a vapor, hidrotérmico e explosão com amônia diluída – AFEX) e biológicos (fungos decompositores), além de diversas combinações entre estes (MACHADO, 2013; GUPTA et al., 2014).

A Tabela 2 engloba as principais reações químicas envolvidas no pré-tratamento de biomassa lignocelulósica.

Tabela 3: Principais reações químicas envolvidas no processo de pré-tratamento de biomassa lignocelulósica

| Reação |
|--|
| Hemicelulose + H ₂ O -> xilose |
| Hemicelulose -> furfural +2H ₂ O |
| 2 hemicelulose + 2 H ₂ O -> 5 ácido acético |
| Celulose + H ₂ O -> glicose |

Fonte: Ng et al. (2015)

5.1.1 Pré-tratamento por explosão a vapor

O pré-tratamento por explosão a vapor é definido pelo tratamento da biomassa com vapor saturado em temperaturas de 160 a 240° C por 2 a 30 minutos na presença ou ausência de um catalizador ácido. O pré-tratamento por explosão a vapor requer baixo consumo de energia comparado a outros processos físicos, é mais barato e possui menor impacto ambiental (RUIZ et al., 2008).

Na explosão a vapor, todos os componentes do material lignocelulósico sofrem hidrólise, mas as hemiceluloses são as mais susceptíveis, são solubilizadas e podem ser facilmente removidas por extração aquosa. O resultado da explosão a vapor é, então, a solução rica em hemicelulose e a fração insolúvel em água que contém celulose e lignina relativamente modificada, que pode ser removida quase completamente por extração com álcali, etanol ou dioxano.

Alguns subprodutos que podem ser formados na explosão a vapor são hidroximetilfurfural, furfural e ácido levulínico, sendo que os dois primeiros têm a sua formação favorecida com o aumento da temperatura e/ou tempo de exposição.

(RAMOS, 2003).

Silva (2015), através de sua revisão bibliográfica, concluiu que, apesar da explosão a vapor em temperaturas mais severas e por mais tempo favoreça a liberação da celulose, ela também produz reações indesejadas. A formação destes subprodutos indesejados aumenta diretamente com o tempo de exposição da biomassa ao vapor de alta pressão. O autor propõe, portanto, utilizar a condição de maior severidade de temperatura (260°C de acordo com a literatura – 48 bar de pressão absoluta de vapor saturado) com um tempo reduzido de residência.

É necessário, portanto, o uso de um reator que aguarde as condições propostas. O Alibaba Group vende um reator de explosão de vapor de escala piloto de 1 a 50L, com temperatura de trabalho de -196 a 500°C por preços que variam de 2 000,00 US\$ - 8 000,00 US\$ (ALIBABA GROUP, 2022a).

Por esta operação envolver vapor a alta pressão, é necessário analisar os riscos que podem advir desta escolha, tanto a saúde humana quanto danos à propriedade, e possíveis meios de mitigá-los. Silva (2015) realizou uma análise de risco do emprego do reator de vapor a alta pressão e o categorizou na classe de risco D (risco moderado, aceitável, porém medidas organizacionais para redução devem ser estabelecidas). O autor também propôs medidas de mitigação como instalação de sistema de alarme e intertravamento que evitam ultrapassar os limites de temperatura e pressão estabelecidos.

5.1.2 Pré-tratamento por água quente líquida

O pré-tratamento por água quente líquida é um processo que se baseia na mudança das propriedades da água quando submetida a elevadas temperaturas e pressões. O pH da água pura a 200°C se torna aproximadamente 5 e a constante dielétrica da água se eleva a temperaturas maiores (Mosier et al., 2005). Assim, a água consegue penetrar na biomassa, hidratar a celulose e clivar as ligações éter e éster, hidrolisando a hemicelulose (Silva, 2009; Demirbas & Gupta, 2011; Silva, 2012). Na faixa de 180 a 220°C por um tempo reduzido, a água também é capaz de extrair lignina (Mosier et al., 2005; Silva, 2009).

Entre as vantagens desta configuração se encontram a produção de pouco ou nenhum componente inibidor das etapas seguintes, a dispensabilidade de separação posterior dos reagentes e de uso de reatores elevadamente resistentes à

corrosão, como no caso de reagentes alcalinos ou ácidos, a não necessidade de lavar ou neutralizar o produto após o pré-tratamento. Tudo isso acarreta reduções de custo do processo. Entretanto, este pré-tratamento apresenta menor nível de remoção de lignina quando comparado à grande parte das configurações existentes (AGBOR et al., 2011; HOMRICH et al., 2010; SANTOS et al., 2012; SILVA, 2009; TOSCAN, 2013).

Considerando estas condições, o reator a ser escolhido não precisa ter alta resistência a corrosão, mas sim a altas temperaturas. Em escala piloto, o reator químico de vidro de 100L de alta temperatura vendido pelo Alibaba Group (2022b) pode ser uma boa opção. Seu custo é de 2 700,00 US\$ e ele aguenta temperaturas entre -120 e 300°C.

5.1.3 Pré-tratamento com ácido H₂SO₄ diluído

No pré-tratamento por diluição ácida, o reagente entra em contato com a biomassa e a mistura é mantida à temperatura de 140-220 °C por curtos períodos. O uso deste pré-tratamento garante elevadas velocidades de reação e melhora da hidrólise da hemicelulose e da celulose, pois estas moléculas já são hidrolisadas durante o pré-tratamento ácido, em diferentes proporções de acordo com a severidade (GALBE, ZACCHI, 2002). Entretanto, este processo, dependendo de sua severidade, pode causar a transformação dos açúcares em aldeídos, como furfural e 5-hidroximetilfurfural. Os ácidos concentrados devem ser manuseados com cuidado, pois são tóxicos e corrosivos. Além disso, esta configuração possui custo maior quando comparada a pré-tratamentos físico-químicos, por exemplo, e requer a utilização de equipamentos mais resistentes e de alto custo. Para tornar o processo economicamente viável, é interessante recuperar e reciclar os ácidos após o uso. Os inibidores formados também podem causar problemas na fermentação. (AGBOR ET AL., 2011; BANERJEE ET AL., 2011; MOSIER ET AL., 2005).

5.1.4 Pré-tratamento alcalino

O pré-tratamento alcalino pode ser realizado sob condições mais moderadas de operação em relação à pressão e à temperatura. Com este método, a digestibilidade da celulose é usualmente aumentada, com maior solubilização da lignina, porém com menor solubilização da celulose e hemicelulose quando

comparado aos processos ácidos ou hidrotérmicos. A opção por esta técnica pode ainda ser interessante quando se busca obter a hemicelulose, majoritariamente, na forma oligomérica ou macromolecular (ALVIRA et al., 2010).

São vários os reagentes que podem ser empregados nesta técnica, podendo incluir o hidróxido de sódio (CARRILLO et al., 2005), hidróxido de cálcio (CHANG et al., 2001), hidróxido de amônio (PRIOR; DAY, 2008), amônia aquosa (KURAKAKE et al., 2001), além das combinações de hidróxido de sódio com peróxido de hidrogênio (SAHA; COTTA, 2007) e sulfito de sódio com hidróxido de sódio (MENDES et al., 2013). O álcali causa o “inchamento” da biomassa, levando a um aumento da área superficial interna, uma diminuição na cristalinidade e rompimento das ligações estruturais entre lignina e carboidratos, aumentando a porosidade do material (SUN; CHENG, 2002; BALAT, 2011).

Um fator limitante desse processo é o elevado custo dos reagentes, principalmente o hidróxido de sódio que é o álcali mais utilizado para esta finalidade. Devido a isso, Terán-Hilares et al. (2016) mostraram que é possível reutilizar o licor negro em sucessivos pré-tratamentos, o que levaria a redução dos custos do processo.

Referente ao processo quimio-mecânico, este tem sido utilizado na indústria de papel e celulose para separação das fibras da madeira. Mais recentemente, vem sendo avaliado para uso no pré-tratamento de bagaço de cana-de-açúcar, com finalidade de facilitar a atuação enzimática nas frações polissacarídicas. No trabalho realizado por Mendes et al. (2011), por exemplo, os autores utilizaram o pré-tratamento quimio-mecânico aplicado a bagaço de cana-de-açúcar em meio sulfito alcalino e mostraram uma conversão de 85% da celulose de amostras pré-tratadas, com remoção em cerca de 50% da lignina e 33% da hemicelulose. A hidrólise da celulose destas amostras é facilitada em função da redução no conteúdo de lignina e hemicelulose, porém, a introdução de grupos sulfônicos na superfície do bagaço também é relevante ao processo (MENDES et al., 2013). Neste contexto, verifica-se que pré-tratamentos capazes de remover mais lignina, sem reduzir demasiadamente o rendimento dos polissacarídeos, são vistos como alternativas potencialmente viáveis para uso em biorrefinarias.

5.1.5 Solvente Orgânico

O pré-tratamento por solvente orgânico separa a lignina da biomassa lignocelulósica, solubiliza a hemicelulose e aumenta o tamanho dos poros e área superficial na parede celular utilizando solventes como acetona, metanol ou etanol misturados à água (SOARES, et. al; 2007). Este processo garante uma fácil separação dos produtos, pois ao final serão produzidos três fluxos: uma polpa rica em celulose, um precipitado sólido rico em lignina e um líquido rico em hemicelulose. O solvente orgânico pode ser facilmente recuperado e reutilizado, utilizando a destilação para separar a mistura.

O uso do solvente orgânico traz diversas vantagens. É um processo mais sustentável, a qualidade dos produtos é competitiva no mercado e os subprodutos podem ser comercializados e possui baixos custos de produção (ZHAO et al., (2008).

5.2 Hidrólise

Após o pré-tratamento, aumenta-se a área superficial e diminui-se o teor de lignina e hemicelulose da biomassa lignocelulósica, deixando as moléculas de celulose mais expostas. A biomassa, então, deve ser submetida a um processo de hidrólise, para quebrar as moléculas de celulose. Esta hidrólise pode ser ácida ou enzimática.

5.2.1 Hidrólise ácida

A hidrólise ácida consiste na quebra das ligações presentes na molécula de celulose pela ação de ácidos concentrados ou diluídos, formando açúcares diretamente fermentescíveis. Na indústria, a hidrólise ácida tem sido realizada com ácido sulfúrico (H_2SO_4), por conta de seu baixo custo e alta disponibilidade, mas outros ácidos também podem ser utilizados, como clorídrico, o sulfuroso, o fluorídrico e o nítrico. A hidrólise ácida pode ser realizada utilizando ácido concentrado ou diluído (BERNARDO NETO, 2009). Este método possui alta eficiência e é considerado viável economicamente. Entretanto, ainda não há comercialização de etanol produzido a partir da hidrólise ácida do bagaço da cana porque este método apresenta dificuldades técnicas e operacionais, como a formação de produtos secundários indesejados,

como derivados de fenol, derivados de furano e ácidos carboxílicos, os quais inibem o processo fermentativo. Para que a fermentação se torne viável, seria necessário neutralizar a solução intermediária antes de fermentar, o que adicionaria mais uma etapa ao processo. (BEHERA et al., 2014; RABELO, 2007).

A Tabela 3 reúne as principais reações químicas que participam da hidrólise ácida da biomassa lignocelulósica.

Tabela 4: Principais reações químicas envolvidas no processo de hidrólise ácida de biomassa lignocelulósica

| Reação |
|--|
| Hemicelulose + H ₂ O -> xilose |
| Hemicelulose -> furfural + 2 H ₂ O |
| 2 hemicelulose + 2 H ₂ O -> 5 ácido acético |
| Celulose + H ₂ O -> glicose |
| Xilose -> furfural + 3H ₂ O |

Fonte: Ng et al. (2015)

5.2.2 Hidrólise enzimática

A hidrólise enzimática também tem como finalidade quebrar a cadeia polissacarídica em açúcares fermentescíveis, mas é realizada por enzimas do complexo celulolítico, majoritariamente da classe de hidrolases, capazes de romper as ligações glicosídicas, e sendo agrupadas de acordo com o seu local de atuação no substrato celulósico. Estas enzimas são classificadas em: endoglucanases (EnG), que agem de forma aleatória, clivando a ligação beta do interior da molécula de celulose, preferencialmente nas regiões amorfas; exoglucanases (ExG), ou também celobiohidrolases (CBH), que atuam nas extremidades da cadeia da celulose, em regiões cristalinas, liberando maior quantidade de celobiose como produto, sendo distinguidos dois tipos, diferenciados pelo local de atuação - CBHI e CBHII, atuando nas extremidades redutoras e não redutoras, respectivamente; e as β -glucosidases (BG), que mesmo não atuando diretamente no substrato celulósico, são essenciais pois catalisam a clivagem das celobioses em glicose, disponibilizando os açúcares monoméricos para a etapa de fermentação (LYND et al., 2002; MACHADO, 2013).

As enzimas do complexo celulolítico atuam em conjunto de forma sinérgica, ou seja, apresentam um rendimento melhor que a soma dos rendimentos individuais (LYND et al., 2002).

Em relação à hidrólise ácida, a hidrólise enzimática possui uma baixa formação de subprodutos inibitórios da fermentação por causa da alta especificidade das enzimas, e condições de processo menos severas. A celulase possui temperatura ótima de trabalho entre 40 e 50°C e pH ótimo entre 4 e 5 e a xilanase possui temperatura ótima entre 30 e 40°C e pH ótimo entre 4 e 7. Estes fatores resultam em uma diminuição dos custos de separação e em um aumento da eficiência de fermentação. Entretanto, a taxa de hidrólise é mais lenta (NEVES et al., 2007; COSTA, 2017; SUAREZ, 2014; SARKAR et al., 2012; PEREIRA, 2013).

5.2.2.1 Enzimas que degradam materiais lignocelulósicos

Os coquetéis enzimáticos desenvolvidos por alguns microrganismos são capazes de degradar os componentes da parede celular. Estes coquetéis possuem celulases, hemicelulases, pectinases, lignases e outras enzimas que atuam de forma sincronizada e sinérgica na conversão da biomassa vegetal (FARINAS, 2011).

A parede celular vegetal é composta principalmente de celulose e hemicelulose, e estes componentes podem ser convertidos em açúcares fermentecíveis na produção industrial de biocombustíveis (FARINAS, 2011).

A bioconversão da celulose em açúcares solúveis e glicose é catalisada por um grupo de enzimas chamadas celulases. Estas enzimas podem ser produzidas por microrganismos, incluindo fungos, bactérias e actinomicetos e há principalmente três tipos de componentes da celulase: endo-l, 4-13-D-glucanase, exo-l, 4-13-D-glucanase e 13-glucosidase, que podem se apresentar separadamente ou na forma de um complexo (BHAT; BHAT, 1997).

A pesquisa sobre a celulase progrediu muito rapidamente desde a década de 90. Desde então, há uma vasta compreensão da sua produção, sua bioquímica de degradação, clonagem e expressão de seus genes e de sua estrutura 3-D (BHAT; BHAT, 1997).

As celulases podem ser aplicadas nas indústrias de alimentos (na extração de sucos de frutas, e sua clarificação, e de óleo de sementes, na embebição e absorção homogênea de água dos cereais, na produção de alimentos fermentados de soja, no isolamento de proteínas de soja e coco, no isolamento de amido de milho e batata doce, na gelatinização de algas marinhas, na extração de ágar de algas marinhas, e na digestão da lignocelulose moída para ser usada como aditivo

alimentar, no melhoramento da qualidade nutritiva de alimentos fermentados e da Reidratabilidade de vegetais secos e misturas de sopas, na produção de açúcares solúveis de resíduos celulósicos e na remoção da parede celular para liberar sabores, enzimas, polissacarídeos e proteínas), de rações animais (como suplemento na ração, no pré-tratamento de material lignocelulósico, descasque de grãos de cereais, tratamento de silagem para melhorar a digestibilidade de ruminantes e animais monogástricos e na clonagem de seus genes para criar animais transgênicos que secretariam as celulasas para ajudar na digestão), de bebidas, têxtil (na remoção do excesso de corante do tecido denim em jeans pré-desbotados, na remoção de microfibrilas em tecidos de algodão, e na restauração da suavidade e brilho da cor dos tecidos de algodão), de combustíveis, química, de papel e celulose, médica/farmacêutica, e de engenharia genética (na produção de cepas híbridas e outras aplicações), além de ser utilizada tratamento de poluição, no gerenciamento de resíduos e na produção de protoplastos de plantas e fungos (BHAT; BHAT, 1997).

Dentro da indústria de bebidas, mais especificamente na indústria de cerveja, as celulasas são empregadas para hidrolisar a glucana, presente na cevada de baixo grau, e para ajudar na filtração da cerveja (BHAT; BHAT, 1997).

Entretanto, uma vez que a estrutura da hemicelulose é muito complexa e diversa, são necessárias diversas enzimas para sua degradação, como endo-1,4- β -xilanasas, β -D-xilosidases, α -arabinofuranosidases, α -glucuronidases, acetil-xilana-esterase e feruloil-esterases. As hemiceluloses podem ser usadas em diversas indústrias, com destaque para a indústria de papel e celulose, alimentos e têxtil (FARINAS, 2011; COLLINS, GERDAY, FELLER, 2005).

Nas reações envolvendo hemicelulasas, é comum que as endoxilanasas, pertencentes às famílias GH10 e GH11, hidrolisam a cadeia principal da xilana, as arabinofuranosidases das famílias GH43, GH51, GH54, GH62, removem as cadeias laterais de arabinose, e as glucuronidases da família GH67 liberam os ácidos urônicos das cadeias laterais a partir do terminal não redutor do xilooligossacarídeos (FARINAS, 2011; COLLINS, GERDAY, FELLER, 2005).

Dentre as hemiceluloses, as xilanas são as mais abundantes e, por isso, para aumentar a eficiência na produção de etanol e outros bioprodutos, é importante garantir a sua conversão em açúcares fermentescíveis. Neste contexto, as xilanasas são amplamente usadas. Essas enzimas hidrolíticas clivam aleatoriamente a estrutura β -1,4 da xilana na parede celular da planta. As xilanasas podem se apresentar de

variadas formas e possuir dobras, mecanismos de ação, especificidades de substrato, atividades hidrocatalíticas e características físico-químicas diferentes. Além disso, as xilanases ajudam a desestruturar o entrelaçamento entre hemicelulose e celulose na parede celular, facilitando a ação de celulases na hidrólise enzimática (FARINAS, 2011; COLLINS, GERDAY, FELLER, 2005).

A Tabela 4 reúne as principais reações químicas que ocorrem no processo de hidrólise enzimática da biomassa lignocelulósica.

Tabela 5: Reações químicas envolvidas no processo de hidrólise enzimática de biomassa lignocelulósica

| Reação |
|--|
| Hemicelulose + H ₂ O -> xilose |
| 2 hemicelulose + 2 H ₂ O -> 5 ácido acético |
| Celulose + H ₂ O -> glicose |

Fonte: Ng et al. (2015)

5.3 Fermentação

A fermentação é a etapa de produção de etanol por microrganismos que utilizam açúcares fermentescíveis como substrato. A produção de etanol de segunda geração é mais difícil que a de etanol de primeira devido à presença no mosto de, além das hexoses que são facilmente fermentescíveis, pentoses (como xilose e arabinose), que possuem fermentação com maior grau de dificuldade. Por causa dessa presença de dois tipos de açúcares no mosto, é importante escolher microrganismos capazes de fermentar as hexoses, as pentoses ou ambas (FREITAS, 2020).

A fermentação alcoólica tem como produto etanol e gás carbônico, podendo produzir também glicerol, ácidos succínico, acético, pirúvico e outros compostos de acordo com as condições de operação (FREITAS, 2020). A Tabela 5 reúne as principais reações químicas que sucedem no processo de fermentação da biomassa lignocelulósica.

Tabela 6: Reações químicas envolvidas no processo de fermentação de biomassa lignocelulósica

| Reação |
|---|
| Glicose \rightarrow 2 etanol + 2 CO ₂ |
| Glicose + 2 H ₂ O \rightarrow 2 glicerol + O ₂ |
| Glicose + 2 CO ₂ \rightarrow 2 ácido succínico + O ₂ |
| Glicose \rightarrow 3 ácido acético |
| Glicose + 1,2 NH ₃ \rightarrow 6 leveduras + 2,4 H ₂ O + 0,3 O ₂ |
| 3 xilose \rightarrow 5 etanol + 5 CO ₂ |
| 3 xilose + 5 H ₂ O \rightarrow 5 glicerol + 2,5 O ₂ |
| 3 xilose + 5 CO ₂ \rightarrow 5 ácido succinico + 2,5 O ₂ |
| 2 xilose \rightarrow 5 ácido acético |
| 3 xilose \rightarrow 5 ácido lático |

Fonte: Ng et al. (2015)

Considerando-se a possibilidade de realização da fermentação em separado ou em simultâneo à etapa de hidrólise enzimática, ou ainda a fermentação de hexoses e pentoses para a produção do etanol lignocelulósico, podem ser encontradas na literatura diferentes configurações de processo para estas etapas biológicas, configurando-se 4 tipos principais: Hidrólise e fermentação em separado, Sacarificação e fermentação simultâneas, Sacarificação e cofermentação simultâneas e Bioprocessos consolidados (VAN ZYL et al., 2011; MACHADO, 2013)

5.3.1 Hidrólise e fermentação em separado (SHF)

Hidrólise e fermentação em separado (*Separate Hydrolysis and Fermentation* - SHF), no qual as etapas de produção de enzimas, hidrólise e fermentação são realizadas em equipamentos distintos e de forma não integrada. Realizando esses processos independentemente, é possível garantir as condições ótimas para ambos, uma vez que as enzimas utilizadas na hidrólise e as leveduras utilizadas na fermentação possuem faixas de pH e temperaturas ótimas diferentes. Uma desvantagem desta configuração é que pode ocorrer inibição das celobiohidrolases e das β -Glicosidases pelos produtos de hidrólise, celobiose e glicose, respectivamente, limitando o processo (VAN ZYL et al., 2011; MACHADO, 2013).

5.3.2 Sacarificação e fermentação simultâneas (SSF)

Sacarificação e fermentação simultâneas (*Simultaneous Saccharification and fermentation* - SSF), no qual essas duas etapas são realizadas simultaneamente de forma integrada, sendo a produção de enzimas realizada em separado. Neste caso, somente as hexoses são convertidas em etanol e as pentoses são hidrolisadas e fermentadas por um microrganismo diferente em outro reator (VAN ZYL et al., 2011; MACHADO, 2013).

5.3.3 Sacarificação e cofermentação simultâneas (SSCF)

Sacarificação e cofermentação simultâneas (*Simultaneous Saccharification and Co-fermentation* - SSCF), similar ao SSF, porém com fermentação concomitante de hexoses e pentoses, tornando-se necessário o uso de um microrganismo que consiga fermentar as pentoses e as hexoses.

5.3.4. Bioprocesso consolidado (CBP)

Bioprocesso consolidado (*Consolidated bioprocessing* - CBP), no qual as etapas de produção de enzimas, hidrólise e fermentação de hexoses e pentoses são todas realizadas simultaneamente de forma integrada. É utilizado um microrganismo modificado que já possui potencial fermentador ou alto potencial para a produção de celulasas e xilanasas. Com essa configuração, é possível diminuir o custo de obtenção de etanol, comparado a estratégia SSCF. Entretanto, estes microrganismos modificados não produzem etanol e celulasas, simultaneamente, em níveis desejados.

5.3.5 Comparação de processos

Para fazer a escolha da configuração a ser empregada para a produção em larga escala de etanol lignocelulósico, devem-se levar em conta fatores como condições de processo (temperatura, pH, tempo) para ação das celulasas e fermentação, além da capacidade do microrganismo de converter C5 e/ou C6, pois estas etapas acontecem em condições diferentes, limitando alguns processos (DEVARAPALLI; ATIYEH, 2015; CHANDEL; SILVA, 2014).

A maior vantagem dos processos de Sacarificação e Fermentação

realizadas simultaneamente (SSF e SSCF) é que com eles, à medida que as moléculas de glicose são formadas, são consumidas pelas leveduras presentes no reator e transformadas em etanol, e, portanto, as chances de inibição enzimática pela glicose são menores. Por causa disso, aumenta-se a taxa global de conversão de celulose em glicose e o rendimento. Outras vantagens dessas configurações são a diminuição dos custos operacionais, já que se utiliza apenas um reator, menor chances de ocorrer contaminação por outros microrganismos por causa da presença de etanol no reator e diminuição do tempo total do processo.

No caso da Sacarificação e cofermentação simultâneas, o custo pode ser mais elevado devido a utilização de leveduras capazes de fermentar tanto as hexoses quanto as pentoses, obtidas a partir de melhoramento genético de linhagens recombinantes. Outras desvantagens desta configuração são que as elevadas concentrações de etanol formado no meio podem inibir o consumo de glicose e que pode ocorrer também, uma diminuição na eficiência da hidrólise enzimática, uma vez que as condições ótimas de operação são diferentes, na maioria dos casos, para enzimas e leveduras. Para contornar este problema, é importante garantir que as condições de temperatura, pH e agitação favoreçam a atividade das enzimas e das leveduras e utilizar enzimas termotolerantes (FREITAS, 2020).

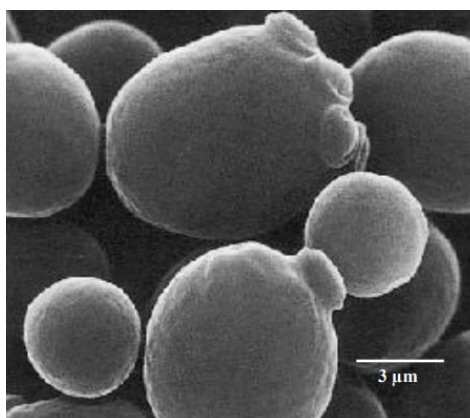
5.3.6 *Saccharomyces cerevisiae*

A escolha do microrganismo ideal para a produção de etanol deve levar em conta o consumo de substrato, rendimento de etanol, produtividade, resistência a elevadas concentrações de etanol, elevadas temperaturas, variações de pH e presença de subprodutos inibitórios produzidos no pré-tratamento da biomassa. Frequentemente são usadas leveduras, sendo que a mais comum na fermentação alcoólica é a *Saccharomyces cerevisiae* devido a sua resistência ao etanol, velocidade de consumo de substrato e resistência a inibidores. Também podem ser usados na fermentação microrganismos como *Escherichia coli*, *Candida brassicae*, *Zymomonas mobilis*, *Kluyveromyces marxianus* e *Pichia stipitis* (FREITAS, 2020)

A *S. cerevisiae* é um microrganismo aeróbio facultativo. Em condições de aerobiose, os produtos do metabolismo do açúcar serão biomassa, CO₂ e água, enquanto em anaerobiose, na fermentação alcoólica, a maior parte dos açúcares é convertida em etanol e CO₂.

Esta levedura também pode usar materiais lignocelulósicos como substrato para produção de etanol. A fermentação pode ser endógena, consumindo constituintes da levedura, como glicogênio e trealose) ou exógena, consumindo substratos oferecidos à levedura, como sacarose, glicose e frutose. (ROSSETO et al., 2014). A Figura 5 apresenta uma micrografia da levedura *S. Cerevisiae* obtida através de microscopia eletrônica.

Figura 5: Levedura *Saccharomyces Cerevisiae*



Fonte: Mega, Neves e Andrade, 2007.

5.4 Destilação

A destilação é uma operação unitária que usa o calor como agente de separação. O processo usa das diferenças de volatilidade relativa entre duas ou mais substâncias. À medida que uma solução é vaporizada parcialmente, a composição do vapor difere-se da composição do material líquido. Em seguida, o vapor é condensado e obtemos o composto mais volátil concentrado (ALMEIDA, 2005; FU, 2013). Os principais tipos de destilação são a destilação descontínua ou simples e a destilação fracionada (ROITMAN, 2002).

5.4.1 Destilação simples

A destilação simples possui apenas uma etapa de vaporização e condensação. A vaporização do componente com menor ponto de ebulição ocorre pelo aumento rápido da temperatura ou pela redução de pressão. O vapor gerado é, então, direcionado a um condensador, onde é resfriado e coletado. Para obter um

maior grau de pureza, podem ser realizadas sucessivas destilações em batelada. É possível coletar porções de destilado com diferentes graus de pureza ao separá-lo em diferentes frações ou cortes. A primeira fração do destilado é a mais rica em compostos mais voláteis (ROITIMAN, 2002). A destilação simples é bastante empregada na recuperação de solventes (SOUZA, 2009).

5.4.2 Destilação fracionada

A destilação fracionada surge como uma forma de aumentar a eficiência do processo de destilação simples. Ele utiliza uma coluna de fracionamento que proporciona vários estágios de equilíbrio em uma única destilação. São realizadas sucessivas vaporizações e condensações que garantem um maior grau de pureza no produto.

A destilação fracionada é mais utilizada na indústria que a simples, por conta de sua maior eficiência e capacidade de separar misturas com multicomponentes (GAUTO, ROSA, 2011; SOUZA, 2009).

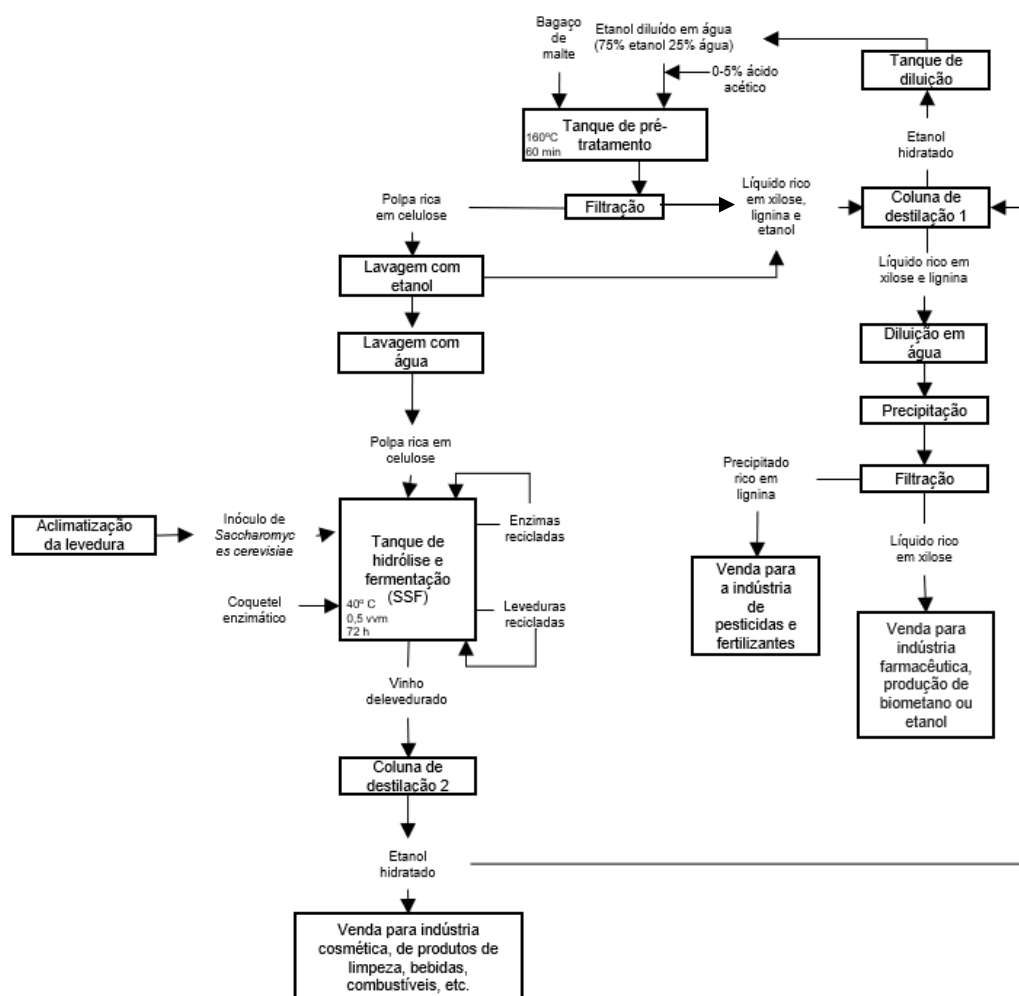
5.5 Fluxograma do processo

Após analisar todas as possíveis opções listadas acima, foram listados os números de plantas, definidas as estruturas de entra-saída e conexões entre plantas, de reciclo das plantas simples, dos sistemas de separação das plantas simples, os possíveis riscos de cada caso e construídos diferentes fluxogramas com as possíveis interconexões entre os processos. Os processos utilizados foram escolhidos levando em consideração sua produtividade, custo e riscos envolvidos, embora outros processos, não aprofundados neste trabalho, também possam se mostrar eficientes para a produção de etanol a partir de bagaço de malte.

As configurações escolhidas são: pré-tratamento por solvente orgânico, hidrólise e fermentação pela configuração SSF com hidrólise enzimática e destilação fracionada.

A Figura 6 apresenta o fluxograma de todas as etapas do processo.

Figura 6: Fluxograma do processo de produção de etanol hidratado a partir de bagaço de malte



Fonte: Própria Autoria

O pré-tratamento por solvente orgânico foi escolhido pela possibilidade de reuso do etanol após destilação e pelo rendimento aceitável. Apesar de não se encontrar na literatura estudos que avaliam a viabilidade do pré-tratamento por solvente orgânico exclusivamente do bagaço de malte, existem diversos estudos que validam este método para materiais lignocelulósicos no geral. Foi escolhido realizar o pré-tratamento em meio ácido para recuperar a xilose presente em grande quantidade no bagaço de malte.

O álcool foi escolhido devido ao seu baixo ponto de ebulição, baixo custo energético e facilidade de recuperação por destilação, o que permite seu reuso, baixo custo e miscibilidade com água (YAWALATA 2001). Além disso, comparado com o metanol, o pré-tratamento com etanol é menos tóxico e necessita de uma menor

concentração de solvente (CHUM et al. 1985). Para evitar o uso de temperaturas muito altas durante o pré-tratamento, foi escolhido tratar a biomassa utilizando um catalisador (CHANG, PASZNER, 1982). Teramoto et al. (2008) escolheu em seu estudo utilizar ácido acético como catalizador invés de ácido sulfúrico para evitar corrosões nos equipamentos, no pré-tratamento de madeira e do bagaço de eucalipto. Eles utilizaram etanol aquoso na proporção 75 etanol:25 água, por 0-60 minutos, a temperaturas de 160-220°C na presença de 0–5% de ácido acético. Este pré-tratamento mostrou-se muito útil para aumentar a digestibilidade enzimática das matérias primas analisadas. Eles alcançaram rendimentos de conversão próximos a 100% quando a biomassa pré-tratada foi hidrolisada com carga de celulase de 9,5FPU/g sólido por 50 h.

Após o pré-tratamento, o conteúdo do reator é filtrado e o sólido deve ser lavado com solução de etanol e depois, com água. A fração líquida, rica em xilose (resultado do tratamento da hemicelulose com ácido), lignina e etanol, deve ser destilada para separação do etanol, que pode ser reaproveitado no processo, do licor rico em xilose e lignina. Este licor deve ser diluído em água, precipitado e filtrado para a separação da lignina precipitada da solução alcoólica rica em xilose.

Diversos estudos comprovam que o pré-tratamento que utiliza etanol como solvente orgânico é eficiente no aumento da digestibilidade enzimática da biomassa (TERRAMOTO et al., 2008; (PAN et al. 2005; PAN et al. 2006; 2007).

Em relação à hidrólise e a fermentação, O sistema SSF foi escolhido por apresentar menor chances de inibição enzimática pela glicose, pelo seu rendimento e por necessitar apenas um reator. A hidrólise enzimática foi escolhida pela possibilidade de reciclo das enzimas utilizadas e pelo seu alto rendimento. Para garantir que as reações ocorram em suas condições ótimas, recomenda-se aclimatizar a levedura antes do preparo do inóculo, para garantir que ela consiga trabalhar na temperatura ótima da enzima.

A destilação fracionada foi escolhida por conta de sua maior eficiência.

Todos os subprodutos resultantes deste processo podem ser vendidos para suas respectivas indústrias de interesse, como indicado na Figura 6.

Recomenda-se a construção da planta de produção de etanol 2G na mesma localidade da fábrica de cerveja da qual o bagaço de malte é extraído, uma vez que o resíduo usualmente possui elevada umidade (em média, 82,19%), o que dificulta o seu transporte e armazenamento (BOURSCHEIDT et al., 2011).

6. CONCLUSÃO

A partir da revisão de literatura realizada, é possível averiguar o grande potencial econômico do bagaço de malte em diferentes indústrias. Dentre os diversos produtos analisados, o etanol foi escolhido como escopo para o exercício de síntese de processo, devido à grande quantidade de estudos existentes que suportam a viabilidade deste processo e à tendência ao aumento de demanda deste produto, que pode ser usado tanto como combustível quanto nas indústrias farmacêutica, de bebidas etc.

As configurações de processo que se mostraram mais interessantes com base na revisão da literatura são: pré-tratamento por solvente orgânico com etanol, hidrólise e fermentação pela configuração SSF com hidrólise enzimática e destilação fracionada. O fluxograma de processo desenvolvido se torna útil em futuros estudos a respeito do uso de bagaço de malte para a produção de etanol.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABREU, J. A. S.; ROVIDA, A. F. D. S.; PAMPHILE, J. A. **Fungos de interesse: aplicações biotecnológicas.** *Uningá Review*, v. 21 n.1, 2015.

ACHAYUTHAKAN, P.; SUPHANTHARIKA, M. **Pasting and rheological properties of waxy corn starch as affected by guar gum and xanthan gum.** *Carbohydrate Polymers*, n. 71, p. 9-17, 2008.

AGBOR, V. B.; CICEK, N.; SPARLING, R.; BERLIN, A.; LEVIN, D. B. **Biomass pretreatment: Fundamentals toward application.** *Biotechnol. Adv.* 29:675-685, 2011.

ALIBABA GROUP. **Reator de explosão de vapor 1l.** 2022a. Disponível em: <<https://portuguese.alibaba.com/product-detail/1l-steam-explosion-reactor-60543438708.html>> Acesso em: 01/07/2022.

ALIBABA GROUP. **Linbel 100l reator químico de alta temperatura com preço de fábrica.** 2022b. Disponível em: <https://portuguese.alibaba.com/p-detail/Linbel-60751494944.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.7ef9599bB9WjmU&s=p> Acesso em: 01/07/2022.

ALMEIDA, A. O. **Recuperação de compostos orgânicos voláteis (covs) emitidos no processo de produção de tubos fotorreceptores orgânicos.** 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.

ALVIRA, P. et al. **Pretreatment for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review.** *Bioresource Technology*, v. 101, n. 13, p. 4851-4861, 2010.

AKSU, Z. **Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review.** *Process Biochemistry*, v. 40, p. 997-1026, 2005.

ARAGÃO, A.; CONTINI, E. **O agro no Brasil e no mundo: uma síntese do período de 2000 a 2020.** Embrapa SIRE, 2021. Disponível em: < www.embrapa.br/documents/10180/62618376/O+AGRO+NO+BRASIL+E+NO+MUNDO.pdf >. Acesso em: 23/04/2022.

ARAQUE, E. et al. **Selection of thermotolerant yeast strains *Saccharomyces cerevisiae* for bioethanol production.** Enzyme and Microbial Technology, 43(I): 120-123, 2008.

ARAÚJO A. R. M.; OLIVEIRA E.C. **Análise do consumo de combustíveis do setor de transporte rodoviário no Brasil.** Revista estudo & Debate v 27 n. 3, 2020.

BAGATINI, L.; SANT'ANNA, V. **Influência da temperatura de secagem em características físico-químicas do bagaço de cerveja.** Área da Vida e Meio Ambiente – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Campus Encantado. 7º Simpósio de Segurança Alimentar, 2020. Disponível em: < http://schenautomacao.com.br/ssa7/envio/files/trabalho3_48.pdf > Acesso em: 01/05/2022.

BALAT, M. **Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review.** Energy Conversion and Management, v. 52, n. 2, p. 858-875, 2011.

BANERJEE, G.; CAR, S.; SCOTT-CRAIG, J. S.; HODGE, D. B.; WALTON, J. D. **Alkaline peroxide pretreatment of corn stover: effects of biomass, peroxide, and enzyme loading and composition on yields of glucose and xylose.** Biotechnol. Biofuels. 4:16, 2011.

BEHERA, S. et al. **Importance of chemical pretreatment for bioconversion of lignocellulosic biomass.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 36, p. 91-106, 2014.

BERNARDO NETO, O. **Integração das principais tecnologias de obtenção de**

EtOH através do processamento de celulose (2ª geração) nas atuais usinas de processamento de cana-de-açúcar (1ª geração). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle. 137p. Dissertação (Mestrado), 2009.

BEZERRA Jr, P.S.; RAYMUNDO, D.L.; SPANAMBERG, A.; CORRÊA, A.M.; BANGEL JR, J.J.; FERREIRO, L. & DRIEMEIER, D. **Neurotoxicose em bovinos associada ao consumo de bagaço de malte contaminado por *Aspergillus clavatus*.** Pesq. Vet. Bras. 28(3):210-218, 2009.

BHAT M.K., BHAT S. **Cellulose degrading enzymes and their potential industrial applications.** Biotechnol Adv 15:583– 620, 1997.

BNDES - BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BRASIL); CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável.** 1 ed. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2008.

BORGES, C. D.; VENDRUSCOLO, C. T.; MARTINS, A. L.; LOMBA, R. F. T. **Comportamento Reológico de Xantana Produzida por *Xanthomonas arboricola pv pruni* para Aplicação em Fluido de Perfuração de Poços de Petróleo.** Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 19, n. 2, p. 160-165, 2009.

BOUDET, A. M. **Editorial: A new era for lignocellulosics utilization through biotechnology.** Comptes Rendus Biologies, 334(I): 777-780, 2011.

BOURSCHEIDT, C. T.; OLIVEIRA, B. H.; GONÇALVES, G. D. C.; SILVA, G. M. **Estudo da secagem do bagaço de malte resíduo úmido obtido do processo industrial de cervejaria.** In II International Symposium on Agricultural and Agroindustrial Waste Management. Foz do Iguaçu, Brazil, 2011.

BRECHT, J. K.; RITENOUR, M. A.; HAARD, N. F.; CHRISM, G. W. **Fisiologia pós-colheita de tecidos vegetais comestíveis.** In: DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O.R. Química de Alimentos de Fennema. 4 ed. Porto Alegre: Artmed,

900p, 2010.

BROCHIER, M.A.; CARVALHO, S. **Consumo, ganho de peso e análise econômica de terminação de cordeiros em confinamento com dietas contendo diferentes proporções de resíduo úmido de cervejaria.** Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v.60, n. 5, 2008.

BRUST, L. A. C. et al. **Enfermidades em Bovinos Associadas ao Consumo de Resíduos de Cervejaria.** Pesquisa Veterinaria Brasileira, v. 35, n. 12, p. 956–964, 2015.

BUABAN, B., INOUE, H., YANO, S., TANAPONGPIPAT, S., RUANGLEK, V., CHAMPREDA, V., PICHYANGKURA, R., RENGPIPAT, S., EURWILAICHITR, L., **Bioethanol production from ball milled bagasse using an on-site produced fungal enzyme cocktail and xylose-fermenting *Pichia stipitis*.** Journal of Bioscience and Bioengineering, v. 110, p.18-25, 2010.

BURTON-FREEMAN, B. **Symposium: Dietary composition and obesity: Do we need to look beyond dietary fat?** Journal of Nutrition, 30(2S Suppl), 267S, 2000.

CABRAL FILHO, S. L. S.; BUENO, I. C. da S.; ABDALLA, A. L. **Substituição do feno de tifton pelo resíduo úmido de cervejaria em dietas de ovinos em manutenção.** Ciência Animal Brasileira, Goiânia, v. 8, n. 1, p. 65-73, jan./mar. 2007. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/vet/article/view/1160/1250>>. Acesso em: 01/05/2022.

CALDAS, S.A. **Comunicação pessoal.** Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

CARRILLO, F. et al. **Effect of alkali pretreatment on cellulase hydrolysis of wheat straw: Kinetic study.** Process Biochemistry, v. 40, n. 10, p. 3360-3364, 2005.

CARVALHO, C. B.; VITAL, A. C. P.; CARVALHO KEMPINSKI, E. M. B.; MADRONA, G. S.; RECHE, P. M.; GUERRERO, A.; DO PRADO, I. N. **Quality and sensorial**

evaluation of beef hamburger made with herbs, spices, and reduced sodium content. Journal of Culinary Science and Technology, 16(3), 254–267, 2018.

CASAS, J. A.; SANTOS, V. E.; GARCIA-OCHOA, F. **Xanthan gum production under several operational conditions: molecular structure and rheological properties.** Enzyme and Microbial Technology, v. 26, p. 282-291, 2000.

CEPEA, C. DE E. A. EM E. A.-E.; CNA, C. DA A. E P. DO B. **PIB DO AGRONEGÓCIO CRESCEU ABAIXO DAS PROJEÇÕES.** 2022. Disponível em < https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_CNA_PIB_JAn_Dez_2021_Mar%C3%A7o2022.pdf >. Acesso em: 23/04/2022.

CERVBRASIL. **Dados do setor – Cerv Brasil – Associação Brasileira da Indústria da Cerveja.** 2021. Disponível em: < http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/dados-do-setor/ >. Acesso em: 30/04/2022.

CHANDEL, A. K.; SILVA, S. S. **Biofuels in Brazil: Fundamental Aspects, Recents developments, Future Perpesctive.** 1 ed. Springer, 2014. p. 2-8, 2014.

CHANG, P. C; PASZNER, L. **Pulping of lignocellulose with aqueous methanol/catalyst mixture.** CA patent 1131415. 1982.

CHANG, V.S. et al. **Oxidative lime pretreatment of high-lignin biomass.** Applied Biochemistry and Biotechnology, v. 94, n. 1, p.1-28, 2001.

CHERUBINI F. **The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals.** Energy Conversion and Management, 51(I):1412– 1421, 2010.

CHUM, H. L.; DOUGLAS, L. J.; FEINBERG, D. A.; SCHROEDER, H. A. **Evaluation of pretreatments for enzymatic hydrolysis of cellulose.** 1985.

COLLINS, T., GERDAY, C., FELLER, G. **Xylanases, xylanase families and extremophilic xylanases.** FEMS Microbiol. Rev. 29 (1), 3–23, 2005.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Cana-de-açúcar tem queda de 3,6% e fecha safra 2017/18 em 633,26 milhões de t.** 2018. Disponível em <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/2327-cana-de-acucar-tem-queda-de-3-6-e-fecha-safra-2017-18-em-633-26-milhoes-de-t>>. Acesso em: 19/10/2021.

CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar.** v. 6 - Safra 2019/20, n. 2 - Segundo levantamento, Brasília, p. 1-58, agosto de 2019. ISSN 2318-7921, 2019. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 01/11/2020.

CONDÉ, V. F.; DE OLIVEIRA, J. E. Z.; DE OLIVEIRA, D. M. F. **Farinha de *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. (cogumelo Hiratake) enriquecido em ferro.** Ciência e Natura, v. 39, n. 1, p. 1-6, 2017.

CONNOLLY, A.; O'KEEFFE, M. B.; NONGONIERMA, A. B.; PIGGOTT, C. O.; FITZGERALD, R. J. **Isolation of peptides from a novel brewers spent grain protein isolate with potential to modulate glycaemic response.** International Journal of Food Science and Technology, 52(1), 146–153, 2017.

CORDEIRO, L.G. **Caracterização e viabilidade econômica do bagaço de malte oriundo de cervejarias para fins energéticos.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal da Paraíba, 2011.

CÓRDOVA, K. V; GAMA, B. T. M. M. T; WINTER, G. M C; NETO, K. G; FREITAS, S. J. R. **Características físico-químicas da casca do maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Flavicarpa Degener) obtida por secagem.** Boletim CEPPA, Curitiba, v.23, n.2. 221-230, 2005.

COSTA, G. B. M. D. **Produção e caracterização de Xilanases obtidas por fermentação em estado sólido.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.

COTTRELL, I. W.; KANG, K. S. **Xanthan gum, a unique bacterial polysaccharide**

for food application. Developments in Industrial Microbiology, v. 19. P. 117-131, 1978.

CUNHA, B. S. **Utilização de biossorvente alternativos na remoção de corantes têxteis.** Universidade Tecnológica do Paraná, Medianeira, 63 f., 2014.

DENKE, M. A. **Nutritional and health benefits of beer.** American Journal Medicine Science. v. 5, p. 320-326, 2000.

DERMIBAS A. **Bioethanol from cellulosic materials: a renewable motor fuel from biomass.** Energy Sources, v. 27, p. 327-333, 2005.

DEVARAPALLI, M.; ATIYEH H. K. **A review of conversion processes for bioethanol production with a focus on syngas fermentation.** Biofuel Research Journal, v. 2, n. 3, p. 268-280, 2015.

DILLMANN, L. **Estudos preliminares de extração e verificação da atividade antioxidante do extrato de bagaço de malte.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2018.

DIMIAN, A.C. **Integrated design and simulation of chemical processes.** Amsterdam, The Netherlands: Elsevier; 2003.

DIRKSEN, G. **Indigestiones en el bovino.** Schnetztor-Verlag, Konstanz. 79p, 1981.

DIRKSEN, G. **Enfermedades de los órganos digestivos y la pared abdominal,** p.25-631. In: Dirksen G., Gründer H. & Stöber M. (Eds), Medicina Interna y Cirugía del Bovino. Vol.1. 4ª ed. Inter-Médica, Buenos Aires, 2005.

DIS - Departamento de Informática em Saúde. **Tabela da Composição Química dos Alimentos.** Escola Paulista de Medicina, 2016. Disponível em <https://tabnut.dis.epm.br/>. Acesso em: 01/11/2020.

DRAGONE, S. I. M.; ROBERTO, I. C. **Bagaço de malte de cerveja.** São Paulo:

Blücher, 2010.

DUFOSSE, L. Pigments, Microbial. EncyclopediaMicrobiol, 4: 457-471, 2009.

ECONOMIA UOL. **Preço Médio da gasolina bate recorde, a R\$ 7,27; em SP, atinge R\$ 8,599.** Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2022/04/27/preco-medio-da-gasolina-bate-recorde-segundo-anp.htm>>. Acesso em: 07/06/2022.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Oferta de Biocombustíveis.**, Plano Decenal de Expansão de Energia 2026, p. 195–214, 2017.

FACCENDA, A. **Valor nutricional do resíduo seco de cervejaria e sua utilização na alimentação de ruminantes.** Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2015.

FARINAS, C. S. **A parede celular e vegetal e as enzimas envolvidas na sua degradação.** São Carlos, SP: Embrapa Agropecuária, 2011.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: Chemistry, Ultrastructure and Reactions.** Berlim e New York: Walter de Gruyter, 613p., 1989.

FERNANDES, H.; SALGADO, J. M.; PERES, H.; TELES, A. O.; BELO, I. **Extraction of antioxidant compounds from enzymatic hydrolysis of brewer's spent grain after solid-state fermentation.** Journal of Biotechnology. Vol. 305(Supplement), Netherlands, Elsevier, S18, 2019.

FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. **Principles of Unit Operations.** 2.ed. John Wiley & Sons, NY, 1982.

FRANCISKI, M. A. **Obtenção e caracterização de biocarvão a partir de bagaço de malte oriundo de cervejarias para utilização como adsorvente do corante azul de metileno.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade federal de Santa Maria, 2018.

FREITAS, F.; ALVES, V. D.; REIS, M. A. M. **Advances in bacterial**

exopolysaccharides: from production to biotechnological applications. Trends in Biotechnology, v. 29, n. 8, 2011.

FREITAS, T. **Estudo das etapas de produção de etanol de 2ª geração no Brasil.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, 2020.

FU, K. **Análise de uma Planta de Recuperação de Solventes Gráficos.** 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

GALBE, M.; ZACCHI, G. **A review of the production of ethanol from softwood.** Appl. Microbiol. Biotechnol.59: 618–628, 2002.

GARCIA, D. **Estudo da produção de etanol pela levedura *Pichia stipis*, a partir do hidrolisado hemicelulósico do bagaço de malte.** 153p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, 2012.

GARCÍA-OCHOA, F.; SANTOS, V. E.; CASAS, J. A.; GÓMEZ, E. **Xanthan gum: production, recovery, and properties.** Biotechnology Advances, v. 18, p. 549-579, 2000.

GAUTO, M. A.; ROSA, G. R. **Processos e Operações Unitárias da Indústria Química.** 417 p. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2011.

GHATAK, H. R. **Biorefineries from the perspective of sustainability : feedstocks , products , and processes.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 15, p. 4042–4052, 2011.

GILMOUR J.S., INGLIS D.M., ROBB J. & MACLEAN M. **A fodder mycotoxicosis of ruminants caused by contamination of a distillery by-product with *Aspergillus clavatus*.** Vet. Rec. 124:133-135, 1989.

GIULIANI, C. S.; ALVES, A. F.; CIROLINI, A.; DA ROSA, V. P. **Elaboração de bolo**

enriquecido com fibras a partir da utilização de resíduo de cervejaria. *Brazilian Journal of Development*, 5(9), 15396-15404, 2019.

GUARANTINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. **Corantes têxteis.** *Química nova*, 23(1), 71-78, 2000.

GUPTA, V. K. et al. **Bioenergy Research: an overview on technological developments and bioresources.** *Bioenergy Research: Advances and Applications*, p. 23-41, 2014.

HARGREAVES, P. I. **Produção de etanol a partir de *Kappaphycus alvarezii* - Biocombustível de terceira geração.** Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Escola de Química Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2013.

HARWATT, H.; SABATÉ, J.; ESHEL, G.; SORET, S.; RIPPLE, W. **Substituting beans for beef as a contribution toward US climate change targets.** *Climatic Change*, 143, 261-270, 2017.

HOMRICH, P. O. B.; MUNIZ, L. A. R.; MUNIZ, A. R. C. **Caracterização e pré-tratamento hidrotérmico de capim-elefante para a obtenção de etanol.** In: XVIII Encontro de Jovens Pesquisadores. Resumos. Caxias do Sul: UCS, 2010.

HUMPHREYS, D.J. **Organic compounds, III: Miscellaneous**, p.183. In: Humphreys D.J. (Ed.), *Veterinary Toxicology*. 3rd ed. Baillière Tindall, London. 356p, 1988.

IPCC. **Climate change Global warming of 1.5° C.**, 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15/download/> >. Acesso em: 15/10/2021.

JUNKES, S. L.; MELO, A. R.; MARQUES, C. R. M.; BORTOLATTO, L. B.; CAMPOS; D. D. P. **Aplicação de bagaço de malte na biossorção do corante azul de efluente de lavanderia têxtil.** *FTT Journal of Engineering and Business*, 1(4), 2019.

KELLERMAN, T.S., COETZER, J.A.W., NAUDÉ, T.W. & BOTHA, C.J. **Plant Poisonings and Mycotoxicoses of Livestock in Southern Africa**. Central Nervous System, p.63-113. In: Kellerman T.S., Coetzer J.A.W., Naudé T.W. & Botha C.J. (Eds), 2nd ed. Oxford University Press. Cape Town, 2005.

KENNEDY, J. F.; BRADSHAW, I. J. **Production, properties and applications of xanthan**. Progress in Industrial Microbiology, n. 19. p. 319-371, 1984.

KIM, C.H.; KIM, S.W.; HONG, S.I. **An integrated fermentation separation process for the production of red pigment by *Serratia* sp. KH-95**. Process Biochem, 35: 485-490, 1999.

KOOTSTRA, A.M.J. et al. **Optimization of the dilute maleic acid pretreatment of wheat straw**. Biotechnology for Biofuels, v. 31, n. 2, p. 1-14, 2009.

KROGH, N. **Clinical and microbiological studies on spontaneous cases of acute indigestion in ruminants**. Acta Vet. Scand. 4:27-40, 1963.

KUIAVSKI, M. P.; BEZERRA, J. R. M. V.; TEIXEIRA, Â. M.; RIGO, M. **Elaboração de pães com adição de farinha do bagaço de malte**. Brazilian Journal of Development, 6(7), 53208-53221, 2020.

KUMAR, A.; VISHWAKARMA, H. S.; SINGH, J., DWIVEDI, S.; KUMAR, M. **Microbial pigments: production and their applications in various industries**. *International Journal of Pharmaceutical, Chemical & Biological Sciences*, 5(1), 2015.

KURAKAKE, M. et al. **Pretreatment with ammonia water for enzymatic hydrolysis of corn husk, bagasse, and switchgrass**. Applied Biochemistry and Biotechnology, v. 90, n. 3, p. 251-259, 2001.

LANDIM, A. P. M.; BERNARDO, C. O.; MARTINS, I. B. A.; FRANCISCO, M. R.; SANTOS, M. B.; MELO, N. R. D. **Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil**. *Polímeros*, 26, 82-92, 2016.

LE DARE, B.; GICQUEL, T. **Therapeutic applications of ethanol: A review**. Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences, 22, 525-535, 2019.

LEE, J. **Biological conversion of lignocellulosic biomass to ethanol**. Journal of Biotechnology, v. 56, n. 1, p. 1-24, 1997.

LEMOS, D. G. D. L. **Utilização de bagaço de malte da indústria cervejeira para produção de amilase por amostras de Aspergillus spp. isolados de amostras do solo da caatinga de Pernambuco**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais da Universidade Católica de Pernambuco, 2021.

LEONG, S. Y.; OEY, I. **Effects of processing on anthocyanins, carotenoids and vitamin C in summer fruits and vegetables**. Food Chemistry, v.133, n. 4, p. 1577–1587, 2012.

LIMA, R. C. A.; ANSCHAU, A. **Characterization of Activated Charcoal Obtained from Malt Bagasse**. Orbital: The Electronic Journal of Chemistry, 374-377, 2019.

LIMA, T. C. et al. **Estudo da produção de bioetanol a partir do bagaço de malte**. p. 595-600. In: São Paulo: Blucher, 2014.

LIMA, U. A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W. **Biotechnologia industrial – Processos fermentativos e enzimáticos**. São Paulo: Blucher, 2001.

LOH, Y. R. et al. **Sugarcane bagasse – The future composite material: a literature review**. Resources, Conservation and Recycling, v. 75, p. 14-22, 2013.

LORETTI, A.P.; COLODEL, E.M.; DRIEMEIER, D.; CORRÊA, A.M.; BANGEL Jr., J.J.; FERREIRO, L. **Neurological disorder in dairy cattle associated with consumption of beer residues contaminated with Aspergillus clavatus**. J. Vet. Diagn. Invest. 15:123-132, 2003.

LUVIELMO, M. M.; SCAMPARINI, A. R. P. **Goma xantana: produção, recuperação,**

propriedades e aplicações. Estudos tecnológicos, v. 5, n. 1 p. 50-67, 2009.

LYND et al. **Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology.** Microbiology and Molecular Biology Reviews, v. 66, n. 3, p. 506-577, 2002.

LYND, L. R. et al. **Consolidated bioprocessing of cellulosic biomass: an update.** Current Opinion in Biotechnology, v.16, n.5, p. 577–583, 2005.

MACHADO, C. J. S.; VILANI, R. M. **Aspectos conceituais do licenciamento ambiental na conservação de recursos naturais não renováveis.** Revista de Informação Legislativa. Brasília, v.47, n.188, p.143-152, 2010.

MACHADO, C. M. M. (Ed.). **Microrganismos na produção de biocombustíveis líquidos.** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2013.

MAEDA, R. N. et al. **Enzymatic hydrolysis of pretreated sugar cane bagasse using *Penicillium funiculosum* and *Trichoderma harzianum* cellulases.** Process Biochemistry, v. 46, p 1196-1201, 2011.

MALAKHOVA, D. V.; EGOROVA, M. A.; PROKUDINA, L. I.; NETRUSOV, A.I.; TSAVKELOVA, E. A. **The biotransformation of brewer's spent grain into biogas by anaerobic microbial communities.** World Journal of Microbiology and Biotechnology, v. 31, p. 2015-2023, 2015.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Mercado cervejeiro cresce no Brasil e aumenta interesse pela produção nacional de lúpulo e cevada,** 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-e-pecuaria/> >. Acesso em: 10/10/2021.

MASARIN, F. et al. **Chemical composition and enzymatic digestibility of sugarcane clones selected for varied lignin content.** Biotechnology for Biofuels, n. 4, v. 55, p. 1-10, 2011.

MASSARDI M. M.; MASSINI R. M. M.; SILVA D. J. **Caracterização química do bagaço de malte e avaliação do seu potencial para obtenção de produtos de valor agregado**. The Journal of Engineering and Exact Sciences – jCEC, Vol. 06 N. 01, 2020.

MAURYA, D. P.; SINGLA, A.; NEGI, S. **An overview of key pretreatment processes for biological conversion of lignocellulosic biomass to bioethanol**. 3 Biotech, v.5, n. 5, p. 597–609, 2015.

MEDINA K. J. D. **Produção de bioetanol a partir de hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana-de-açúcar empregando as leveduras Scheffersomyces (Pichia) stipitis NRRL Y-7124 e Candida shehatae UFMG HM 52,2 visando à aplicação em bioprocessos com campo eletromagnético**. Lorena, Brasil. (Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, USP), 2013.

MEGA, J. F.; NEVES, E.; ANDRADE, C. J. D. **A produção de cerveja no Brasil**. Revista Citino, 1(1), 34-42, 2011.

MELLO, L. R.; MALI, S. **Use of malt bagasse to produce biodegradable baked foams made from cassava starch**. Industrial Crops and Products, 55, 187-193, 2014.

MENDES F M. et al. **Enzymatic digestion of alkaline-sulfite pretreated sugar cane bagasse and its correlation with the chemical and structural changes occurring during the pretreatment step**. Biotechnology Progress, 4(I): 890-895, 2013.

MENDES, F.M. et al. **Enzymatic hydrolysis of chemithermomechanically pretreated sugarcane bagasse and two experimental samples with reduced initial lignin**. Biotechnology Progress, v. 27, p. 395-401, 2011.

MENDONÇA, M.J.C.; GUTIEREZ, M.B.S. **Efeito estufa e o setor energético brasileiro**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2000.

MENEZES, C. R.; BARRETO, A. R. **Biodegradação de resíduos linocelulósicos**

por fungos basidiomicetos: Caracterização dos resíduos e estudo do complexo enzimático fúngico. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 19, n. 2, p. 1365-1391, 2015.

MENEZES, J.D.S. **Produção de goma xantana a partir da bioconversão de resíduos de malte de cervejaria por Xanthomonas campestris pv. campestris IBSBF 1866.** Tese (Doutorado). Universidade Federal de Sergipe. Aracaju, SE. 2013.

MENON, V.; RAO, M. **Trends in bioconversion of lignocellulose: Biofuels, platform chemicals & biorefinery concept.** Progress in Energy and Combustion Science, v. 38, p. 32-50, 2012.

MODENBACH, A.; NOKES, S. E. **The use of high-solids loadings in biomass pretreatment - a review.** Biotechnology and Bioengineering, v. 109, ed. 6, 2012.

MORIZONO, R. C.; RAMOS, H. R.; KNISS, C. T. **Análise da preferência de consumidores por etanol e gasolina no Brasil.** Ensaios FEE, 38(4), 877-902, 2018.

MOSIER, N.; WYMAN, C.; DALE, B.; ELANDER, R.; LEE, Y.Y.; HOLTZAPPLE, M.; LADISCH, M. **Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass.** Bioresour. Technol. 96: 673-686, 2005.

NASCIMENTO, R. F. et al. **Adsorção: Aspectos teóricos e aplicações ambientais**. E-book. 2. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária (Estudos da pós-graduação), 2020. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/53271>>. Acesso em: 29/05/2022.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Nutrient requirements of dairy cattle.** Seventh revised edition, Washington D.C.: National Academic Press, 2021.

NEVES, M. A.; KIMURA, T.; SHIMIZU, N.; NAKAJIMA, M. **State of the art and future trends of bioethanol production.** Dynamic Biochemistry, Process Biotechnology and Molecular Biology, v. 1, n. 1, p. 1-14, 2007.

NG, D. K.; TAN, R. R.; FOO, D. C.; EL-HALWAGI, M. M. **Process design strategies for biomass conversion systems**. John Wiley & Sons, 2015.

OLIVEIRA, B. T. M.; BARBOSA, P. S. Z.; CAVALCANTI, T. G.; DO AMARAL, I. P. G.; VASCONCELOS, U. **Craft beer waste as substrate for pyocyanin synthesis**. J. Pharm. Biol. Sci., v. 14, n. 1, p. 21-25, 2019.

OLIVEIRA, C. F. D.; VENDRUSCULO, F.; COSTA, J. P. V.; ARAÚJO, W. D. B. **Bagaço de malte como substrato para produção de biopigmentos produzidos por *Monascus ruber* CCT 3802**. Revista de Agricultura Neotropical, Cassilândia-MS, v. 3, n. 3, p. 6-9, 2016.

OLIVEIRA, J. V.; ALVES, M. M.; COSTA, J. C. **Biochemical methane potential of brewery by-products**. Clean Technologies and Environmental Policy, v. 20, P 435–440, 2018.

OLIVIER, Jos GJ; SCHURE, K. M.; PETERS, J. A. H. W. **Trends in global CO₂ and total greenhouse gas emissions: 2017 Report**. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2017.

OUMER, O. J.; ABATE, D. **Characterization of Pectinase from *Bacillus subtilis* Strain Btk 27 and Its Potential Application in Removal of Mucilage from Coffee Beans**. Enzyme Research, 2017.

PALANIRAJ, A.; JAYARAMAN, V. **Production, recovery and applications of xanthan gum by *Xanthomonas campestris***. Journal of Food Engineering, n. 106, p. 1-12, 2011.

PANDEY, A. et al. **Biotechnological potential of agro-industrial residues. I: sugarcane bagasse**. Bioresource Technology, v. 74, n. 1, p. 69-80, 2000.

PAN, X.J., et al. **Biorefining of softwoods using ethanol organosolv pulping: Preliminary evaluation of process streams for manufacture of fuel-grade ethanol and co-products**. Biotechnol Bioeng 90:473–481, 2005.

PAN, X. J., et al. **Bioconversion of hybrid poplar to ethanol and co-products using an organosolv fractionation process: optimization of process yields.** *Biotechnol Bioeng* 94:851–861, 2006.

PAN, X. J.; XIE, D.; YU, R. W.; LAM, D.; SADDLER, J. N. **Pretreatment of lodgepole pine killed by Mountain pine beetle using the ethanol organosolv process: fractionation and process optimization.** *Ind Eng Chem Res* 46:2609–2617, 2007.

PARADA M.P. et al. **Sustainable biorefineries, an analysis of practices for incorporating sustainability in biorefinery design.** *Industrial Crops and Products*, v. 106, p. 105–123, 2017.

PAREKH, S.; VINCI, V.A.; STROBEL, R.J. **Improvement of microbial strains and fermentation processes.** *Appl Microbiol. Biotech.* 54: 287-301, 2000.

PARK, D. et al. **The past, present, and future trends of biosorption.** *Biotechnology and Bioprocess Engineering*. 15. p. 86102, 2010.

PAULA, M.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C. **Uso de tecnologia verde para extração proteica do bagaço de malte.** 7º Simpósio de Segurança Alimentar, Universidade Federal do Rio Grande, Laboratório de Tecnologia de Alimentos, Rio Grande – RS, 2020.

PAULEY, M.; MASKELL, D. **Mini-Review: The Role of *Saccharomyces cerevisiae* in the Production of Gin and Vodka.** *Beverages*, Edinburgh, v. 3, n. 13, fev, 2017.

PEREIRA, C. M. **Cerveja: história e cultura.** Editora Senac São Paulo, 2021.

PEREIRA, D. G. S. **Rendimentos da hidrólise enzimática e fermentação alcoólica de capim-elefante, capim-andropogon, capim-mombaça e bagaço de cana-de-açúcar para produção de etanol de segunda geração.** 2013. 52 f. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, 2013.

PINHEIRO, T. et al. **Intensifying ethanol production from brewer's spent grain waste: Use of whole slurry at high solid loadings**. *New Biotechnology*, v. 53, n. April 2018, p. 1–8, 2019.

PRIOR, B. A.; DAY, D. F. **Hydrolysis of ammonia-pretreated sugar cane bagasse with cellulase, beta-glucosidase, and hemicellulase preparations**. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 146, n. 1, p. 151-164, 2008.

PROCKNOR, C. **Subprodutos: o bagaço**. *STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v. 18, n. 4, p. 14, 2000.

RABELO, S. C. **Avaliação de desempenho do pré-tratamento com peróxido de hidrogênio alcalino para a hidrólise enzimática de bagaço de cana-de-açúcar**. Campinas: Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas. 110 f. Dissertação (Mestrado), 2007.

RAISAINEN, R.; NOUSIAINEN, P.; HYNNINEN, P.H. **Dermorubin and 5-chlorodermorubin natural anthraquinone carboxylic acids as dyes for wool**. *Textile Res J*, 72: 973-976, 2002.

RAMOS, L. P. **The chemistry involved in the pretreatment of lignocellulosic materials**. *Química Nova*, v. 26, p. 863-871, 2003.

RANGANATHAN, J.; VENNARD, D.; WAITE, R.; DUMAS, P.; LIPINSKI, B.; SEARCHINGER, T. **Shifting Diets for a Sustainable Food Future**. Washington: World Resources Institute, 2016.

RAVINDRAN, R. et al. **A comparative analysis of pretreatment strategies on the properties and hydrolysis of brewers' spent grain**. *Bioresource Technology*, v. 248, p. 272–279, 2018.

REINOLD, M. **Manual Prático de Cervejaria**. 1. ed. São Paulo : Aden, 1997.

RICARDO, S.; SANCHES-SILVA, A.; RAMOS, F.; CASTILHO, M. C. **Determinação**

do ergosterol no cogumelo ostra (*Pleurotus ostreatus*) cultivado em borras de café e palha de trigo. Boletim Epidemiológico Observações, v. 6, n. 18, p. 32-35, 2017.

ROITMAN, V. **Curso de formação de operadores de refinaria: Operações Unitárias.** 50 p. Curitiba: Unicenp, 2002.

ROOS, T. B.; MORAES, C. M.; VIDOR, T.; VENDRUSCOLO, C. T.; LEITE F. P. L. **Xantana como Adjuvante em Vacina contra Herpes Suína Tipo 1.** Veterinária em Foco (ULBRA), v. 6, p. 154-158, 2009.

ROSALAM, S; ENGLAND, R. **Review of xanthan gum production from unmodified starches by *Xanthomonas campestris* sp.** Enzyme and Microbial Technology, New York, v; 39, n. 2, p. 197-207, 2006.

ROSSETO, P.; GAVIOLI, A. C.; RHODEN, S. A.; PAMPHILE, J. A. **Melhoramento genético microbiano baseado na engenharia genética: o caso dos microorganismos produtores de etanol.** Revista UNINGÁ Review. Vol.17, No.1, 48-53, 2014.

ROSSI, D. M.; OLIVEIRA, C. C. **Cultivo de *Pleurotus Ostreatus* Utilizando Bagaço de Malte, Serragem e Casca De Arroz.** Departamento de Engenharia Química – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 7º Simpósio de Segurança Alimentar, 2020.

RUBIN, E. M. **Genomics of cellulosic biofuels.** Nature, v. 454, p. 841-845, 2008.

RUIZ, E.; CARA, C.; MANZANARES, P.; BALLESTEROS, M.; CASTRO, E. **Evaluation of steam explosion pre-treatment for enzymatic hydrolusis of sunflower stalks.** Enzyme and Microbial Technology, v. 42, p. 160-166, 2008.

RUTHVEN, D. M. **Principles of Adsorption and Adsorption Process.** John Wiley & Sons, U.S.A., 1984.

SAAD, A. L. M.; LIMA, F. S.; ANDRADE, M. C. N. **Adubo orgânico consorciado com gramíneas para o cultivo do cogumelo *Ganoderma lucidum***. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 11, n. 2, p. 561-572, 2018.

SAHA, B. C.; COTTA, M.A. **Enzymatic saccharification and fermentation of alkaline peroxide retreated rice hulls to ethanol**. Enzyme and Microbial Technology, v. 41, n. 4, p. 528-532, 2007.

SANTOS, E. F.; ARAÚJO, R. R.; LEMOS, E. E. P.; ENDRES, L. **Quantificação de compostos bioativos em frutos de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) nativos de alagoas**. Revista Ciência Agrícola, 15(1), 17-22, 2017.

SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. **Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol**. Quím. Nova. 35(5):1004-1010, 2012.

SANTOS, I.J.; COUTO, S.M.; ANDRADE, E.T. **Cinética de secagem em camada fina do malte verde de cevada**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.3, n.1, 2001.

SANTOS, L. V. et al. **Second-Generation Ethanol: The Need is Becoming a Reality**. Industrial Biotechnology, v. 12, p. 40–57, 2016.

SANTOS, M.S.; RIBEIRO, F.M. **Cervejas e Refrigerantes**. CETESB, São Paulo. 58p. 2005.

SARAIVA, B. R.; AGUSTINHO, B. C.; VITAL, A. C. P.; STAUB, L.; MATUMOTO PINTRO, P. T. **Effect of brewing waste (malt bagasse) addition on the physicochemical properties of hamburgers**. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(10), e14135, 2019.

SARKAR, N.; GHOSH, S. K.; BANNERJEE, S.; AIKAT, K. **Bioethanol production from agricultural wastes: An overview**. Renewable Energy, v. 37, n. 1, p. 19-27,

2012.

SHAH, A. K.; ASHTAPUTRE, A. A. **Evaluation of rheological properties of the exopolysaccharide of *Sphingomonas paucimobilis* GS-1 for application in oil exploration.** Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 23(4-5), 442-445, 1999.

SILVA, C. C.; MENEZES, B.S.; LEITE, J. G. B. S.; ASSIS, F. G. V.; LEAL, P. L. **Utilização do bagaço de malte da indústria cervejeira como substrato para produção de pectinase por cogumelos.** Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, Curitiba, v.4, n.4, p. 5042-5060 out./dez, 2021a.

SILVA, L. F.; SILVA; G. C. P. A., MARTINS; O. G., SOUZA PASSOS; J. R.; ANDRADE, M. C. N. **Crescimento micelial de *Pleurotus ostreatus* em substratos suplementados com bagaço de malte.** Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 14, n. 3, p. 1-12, 2021b.

SILVA, M. C. P. **Disponibilidade, pré-tratamento de matéria prima e projeto de reator a explosão a vapor para produção de E2G.** Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Energia da UNIFACS Universidade Salvador, Laureate International Universities. 2015.

SILVA, V. F. N. **Estudos de pré-tratamento e sacarificação enzimática de resíduos agroindustriais como etapas no processo de obtenção de etanol celulósico.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo. Lorena, Brasil. 2009.

SILVA, V. F. N. et al. **Fermentation of cellulosic hydrolysates obtained by enzymatic saccharification of sugarcane bagasse pretreated by hydrothermal processing.** Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology, v. 38, n. 7, 809-817, 2011.

SLUITER A. et al. **Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass.** Biomass Analysis Technology Team Laboratory Analytical Procedure,

2011.

SOARES, J. L. **Remoção de Corantes têxteis por adsorção em carvão mineral ativado com alto teor de cinzas**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

SOARES, P. A.; ROSSEL, C. E. V. **Conversão da celulose pela tecnologia organosolv**. Núcleo de Análise Interdisciplinar de Políticas Energéticas da Universidade de São Paulo (NAIPPE). Universidade de São Paulo, 2007.

SOUZA, A. S.; VENDRUSCULO, C. T. **Produção e caracterização dos biopolímeros sintetizados por *X. campestris pv pruni* CEPAS 24 e 28**. Ciência e Engenharia, v. 8, n. 2, p. 115-123, 1999.

SOUZA, P. A. F. **Recuperação do solvente dos resíduos do processo de pintura na indústria moveleira**. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

STEVENS, E. S.; KLAMCZYNSKI, A.; GLENN, G. M. **Starch-lignin foams**. Express Polymer Letters, 4(5), 311-320, 2010.

STÖBER M. **Botulismo**, p.1007-1011. In: Dirksen G., Gründer H.D. & Stöber M. (Eds), Medicina Interna y Cirugía del Bovino. Vol.2. 4ª ed. Inter-Médica, Buenos Aires, 2005.

STOJCESKA, V. **Chapter 15 - Brewer's Spent Grain from By-Product to Health: A Rich Source of Functional Ingredients**. Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention (Second Edition), Editor(s): Victor R. Preedy, Ronald Ross Watson, Academic Press, Pages 189-198, 2019.

SUDEEP, K. C.; UPADHYAYA, J.; JOSHI, D. R.; LEKHAK, B.; CHAUDHARY, D. K.; PANT, B. R.; BAJGAI T. R.; DHITAL, R.; KHANAL, S.; KOIRALA, N.; RAGHAVAN, V. **Production, characterization, and industrial application of pectinase enzyme isolated from fungal strains**. Fermentation, v. 6, n. 2, 2020.

SUAREZ, C. A. G. **Otimização da produção de etanol 2G a partir de hexoses e pentoses**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

SULYMAN, Mohamed; NAMIESNIK, Jacek; GIERAK, Andrzej. **Low-cost Adsorbents Derived from Agricultural Byproducts/Wastes for Enhancing Contaminant Uptakes from Wastewater: A Review**. Polish Journal of Environmental Studies, v. 26, n. 2, p. 479–510, 2017.

SUN, Y.; CHENG, J. **Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review**. Bioresource Technology, v.83, n. 1, p. 1-11, 2002.

SWERTS, M. P. et al. **Pré-tratamento sob pressão atmosférica visando ao aumento da digestibilidade enzimática de bagaço de cana-de-açúcar usando glicerol em meio ácido**. Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n. 2, p. 1537-1544, 2015.

TAHERZADEH, M. J.; KARIMI, K.; **Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production: A Review**. International Journal of Molecular Sciences, v. 9, n. 9, p. 1621-1651. 2008.

TELES, J. A. **Estudo da produção de mosto concentrado lupulado a partir de extrato de malte concentrado, xarope de alta maltose e lúpulo**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) –Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2007.

TERAMOTO, Y.; LEE, S. H.; ENDO, H. **Pretreatment of woody and herbaceous biomass for enzymatic saccharification using sulfuric acid-free ethanol cooking**. Bioresource Technol 99:8856–8863, 2008.

TERÁN-HILARES R. et al. **Successive pretreatment and enzymatic saccharification of sugarcane bagasse in a packed bed flow-through column reactor aiming to support biorefineries**. Bioresource Technology, v. 203, p.42-49, 2016.

TIZZIANI, I. M. **Avaliação da secagem do bagaço de malte para aplicação como biossorvente**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2021.

TOSCAN, A. **Efeito do pré-tratamento hidrotérmico no rendimento da hidrólise enzimática do capim-elefante**. Dissertação de mestrado, Caxias do Sul: Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade de Caxias do Sul, 2013.

UNAGUL, P.; WONGSA, P.; KITTAKOOP, P.; INTAMAS, S.; SRIKITIKULCHAI, P.; TANTICHAROEN, M. **Production of red pigments by the insect pathogenic fungus *Cordyceps unilateralis* BCC 1869**. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 32(4), 135-140, 2005.

UNDERWOOD, W. J. **Rumen lactic acidosis. I**. Epidemiology and pathophysiology. *Compend. Contin. Educ. Pract. Vet.* 14:1127-1334, 1992a.

UNDERWOOD, W. J. **Rumen lactic acidosis. II**. Clinical signs, diagnosis, treatment, and prevention. *Compend. Contin. Educ. Pract. Vet.* 14:1265- 1270, 1992b.

VAN ZYL, W. H. et al. **Next-generation cellulosic ethanol technologies and their contribution to a sustainable Africa**. *Interface focus*, v. 1, p. 196-211, 2011.

VENIL, C. K.; LAKSHMANAPERUMALSAMY, P. **An insightful overview on microbial pigment, prodigiosin**. *Electronic Journal of Biology*, 5(3), 49-61, 2009.

VENIL, C. K.; ZAKARIA, Z. A.; AHMAD, W. A. **Bacterial pigments and their applications**. *Process Biochemistry*, 48(7), 1065-1079, 2013.

VITANZA, R.; CORTESI, A.; GALLO, V.; COLUSSI, I.; M. E. DE ARANA-SARABIA, M. E. de. **Biovalorization of brewery waste by applying anaerobic digestion**. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, n. 3; v. 30, p. 351–357, 2016.

VOLESKY, B. **Sorption and Biosorption**. Chemical Engineering. McGill University. Montreal, 2003.

WEBER, F. H.; QUEIROZ-COLLARES, F. P.; CHANG, Y.K. **Estabilidade de géis de amido de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose adicionados de gomas guar e xantana durante os processos de congelamento e descongelamento.** *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 28, p. 413-417, 2008.

WEEGE, K. A.; WARMLING, B. R.; SOUZA, C. K.; CARVALHO, L. F. **Desenvolvimento e Características Nutricionais de Cookie de Canela com Adição de Bagaço de Malte Tipo Weizen.** *Revista Processos Químicos*, 11(22), 35-40, 2017.

WILKINSON, S.; SMART, K. A.; COOK, D. J. **A comparison of dilute acid- and alkali-catalyzed hydrothermal pretreatments for bioethanol production from brewers' spent grains.** *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, v. 72, n. 2, p. 143–153, 2014.

XU, B.J.; JIA, X. Q.; GU, L. J.; SUNG, C. K. **Review of the qualitative and quantitative analysis of the mycotoxin citrinin.** *Food Control*. Yung-Gu, Coreia do Sul, v. 17, n. 4, p. 271-285, 2006.

YANG, B.; WYMAN, C. E. **Pretreatment: the key to unlocking low-cost cellulosic ethanol.** *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, v. 2, p. 26–40, 2008.

YAWALATA, D. **Catalytic selectivity in alcohol organosolv pulping of spruce wood.** *Dissertação*. University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada, 2001.

ZHAO, W.; LI, Z.; ZHAO, G.; ZHANG, F.; ZHU, Q. **Effect of air preheating and fuel moisture on combustion characteristics of corn straw in a fixed bed.** *Energy Conversion and Management*, 2008.