

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MATHEUS SBRUZZI FIEBIG

**POTENCIAL CAPACIDADE ENERGÉTICA DO BAGAÇO DE MALTE PARA
CALDEIRAS DE PEQUENO PORTE**

FRANCISCO BELTRÃO

2022

MATHEUS SBRUZZI FIEBIG

**POTENCIAL CAPACIDADE ENERGÉTICA DO BAGAÇO DE MALTE PARA
CALDEIRAS DE PEQUENO PORTE**

Potential energy capacity of malt postage for small boilers

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Irede Angela Lucini Dalmolin

Coorientadora: Ellen Porto Pinto

FRANCISCO BELTRÃO

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

MATHEUS SBRUZZI FIEBIG

**POTENCIAL CAPACIDADE ENERGÉTICA DO BAGAÇO DE MALTE PARA
CALDEIRAS DE PEQUENO PORTE**

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

Data de aprovação: 21/junho/2022

Irede Angela Lucini Dalmolin
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Ellen Porto Pinto
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Gabriel Cassemiro Mariano
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

“A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

**FRANCISCO BELTRÃO
2022**

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Estevan Fiebig e Evelise Sbruzzi Fiebig, e à minha irmã, Maria Carolina Fiebig, pelo apoio, incentivo, amor e paciência durante o início desta caminhada acadêmica até o presente momento.

Um agradecimento especial para minha avó, Eloy Fiebig que sempre foi uma apoiadora fiel que nunca mediu esforços para eu conseguir completar meus sonhos.

À minha orientadora Prof.^a Irede Angela Lucini Dalmolin, e à minha co-orientadora Prof.^a Ellen Porto Pinto pela dedicação, disposição, cooperação e compreensão. Pessoas atenciosas e solícitas, sempre contribuindo com suas observações e profissionalismo ao longo deste trabalho de pesquisa.

Um agradecimento especial para cervejaria Schaf Bier que nos cedeu gentilmente a matéria prima e deu todo apoio possível para o andamento do trabalho.

Agradeço à todos que de uma forma ou de outra participaram dessa caminhada e contribuíram para que esse momento se realizasse. Meus agradecimentos aos colegas e amigos que fiz ao longo dessa jornada.

RESUMO

Esse trabalho teve como objetivo estudar a capacidade energética do bagaço de malte originado de cervejarias de pequeno porte. Avaliou-se e caracterizou-se diferentes teores de umidade para melhor estimar os seus fins energéticos como recurso em caldeiras, substituindo o combustível fóssil ou demais biomassas. A coleta do bagaço foi realizada em uma cervejaria local na cidade de Francisco Beltrão – PR. Foram realizadas análises físico-químicas para determinação da composição centesimal. As amostras de bagaço de malte foram caracterizadas conforme sua umidade e poder calorífico. Foram feitas análises elementar e imediata para poder fazer cálculos empíricos do poder calorífico superior e inferior. A análise imediata apresentou altos teores de matérias voláteis e baixo de carbono fixo. Os resultados para análises físico-químicas ficaram dentro dos parâmetros encontrados em legislação, assim podendo ser utilizado tanto para ração animal e para consumo humano. Os valores de poder calorífico superior e inferior foram calculados por diferentes equações empíricas dependentes das análises imediata e elementar, apresentando valores entre 15,3 e 19,1 MJ kg⁻¹ e 16,1 e 19,9 MJ kg⁻¹, respectivamente. Ainda em relação ao poder calorífico, pode-se destacar que quando comparado com outras biomassas o resíduo cervejeiro tem um nível significativo de poder energético. O estudo tem como base pequenas cervejarias onde se utilizam geralmente gás natural ou diesel em caldeiras. A nova metodologia proposta tem como finalidade substituir parcialmente ou completamente a matéria-prima utilizada anteriormente. Podendo assim comprovar que o bagaço de malte é viável como fonte energética para caldeiras.

Palavras-chave: fonte energética; biomassa; poder calorífico; caracterização.

ABSTRACT

This work aims to study the energy capacity of malt bagasse originated from small breweries. Different moisture contents were evaluated and characterized to better estimate their energy purposes as a resource in boilers replacing fossil fuel or another biomass. The bagasse was collected at a local brewery at the city of Francisco Beltrão – PR. Physicochemical analyzes were carried out to determine the proximate composition. The malt bagasse samples were characterized according to their moisture and calorific value. Elementary and immediate analyzes were carried out in order to be able to make empirical calculations of the higher and lower calorific value. The immediate analysis showed high levels of volatile matter and low fixed carbon. The results for physical-chemical analyzes were within the parameters found in legislation, thus being able to be used both for animal feed and for human consumption. The values of superior and inferior calorific value were calculated by different empirical equations dependent on the immediate and elemental analyses, presenting values between 15.3 and 19.1 MJ kg⁻¹ and 16.1 and 19.9 MJ kg⁻¹, respectively. Still in relation to the calorific power, we can highlight that when compared to other biomasses, the brewing residue has a significant level of energy power. The study is based on small breweries where natural gas or diesel are generally used in boilers. The proposed new methodology aims to partially or completely replace the previously used raw material. Thus, being able to prove that the malt bagasse is viable as an energy source for boilers.

Keywords: energy source; biomass; calorific value; description.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Anatomia do grão da cevada.....	16
Figura 2 - Diferentes tipos de maltes.....	21
Figura 3 - Fluxograma de processo de malteação	22
Figura 4 - Formação e desenvolvimento de radículas	23
Figura 5 - Germinação dos grãos da cevada	23
Figura 6 - Geração de resíduos sólidos na cerveja	28
Figura 7 - Geração de resíduos em uma cervejaria europeia	28
Figura 8 - Diagrama dos processos de conversão energética da biomassa	31
Figura 9 - Porcentagem de carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), e nitrogênio (N) em base seca sem cinzas	32
Figura 10 - Calorímetro simples (a) e calorímetro com bomba plana (b)	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição da cevada	17
Tabela 2 - Massa específica e poder calorífico de resíduos orgânicos	26
Tabela 3 - Oferta de energia renovável e não renovável no Brasil	29
Tabela 4 - Equações utilizadas para o cálculo da análise elementar teórica.....	36
Tabela 5 - Equações para cálculo do PCS a partir da análise imediata.....	37
Tabela 6 - Equações para cálculo do PCS a partir da análise elementar.....	38
Tabela 7 - Composição físico-química do bagaço de malte.....	39
Tabela 8 - Valores médios dos materiais voláteis (MV), cinzas (Cz), e carbono fixo (CF).....	41
Tabela 09 - Valores de análise elementar	42
Tabela 10 - Resultados do cálculo de PCS para o RC	44
Tabela 11 - Resultados do cálculo de PCI para o RC	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
MAPA	Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento
PCI	Poder calorífico inferior
PCS	Poder calorífico superior
PNUD	Programa de Nações Unidas para o Desenvolvimento
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
RC	Resíduo cervejeiro
O	Oxigênio
S	Enxofre
C	Carbono
N	Nitrogênio
MV	Materiais voláteis
CZ	Cinzas
CF	Carbono fixo

LISTA DE SÍMBOLOS

C	Capacidade equivalente do calorímetro
Δt	Varição de temperatura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo geral.....	14
2.2	Objetivos específicos.....	14
3	REVISÃO DE LITERATURA.	15
3.1	Cevada	16
3.1.1	Aspectos Gerais.....	16
3.1.2	Estrutura química do grão da cevada e fator nutricional.....	16
<u>3.1.2.1</u>	<u>Carboidratos.....</u>	<u>18</u>
<u>3.1.2.2</u>	<u>Amido.....</u>	<u>18</u>
<u>3.1.2.3</u>	<u>Proteínas.....</u>	<u>19</u>
<u>3.1.2.4</u>	<u>Lipídios.....</u>	<u>19</u>
3.1.3	Utilização da Cevada.....	20
3.2	Malteação.....	21
3.3	Aproveitamento de resíduos agroindustriais.....	25
3.3.1	Aspectos Gerais.....	25
3.3.2	Subprodutos Agroindustriais.....	26
3.3.3	Subprodutos gerados na indústria cervejeira.....	28
3.4	Demanda e oferta de energia no Brasil	29
3.4.1	Biomassa.....	31
3.4.2	Composição da biomassa.....	33
3.4.3	Características da biomassa na combustão.....	34
3.4.4	Poder Calorífico.....	34
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	36
4.1	Matéria-prima	35
4.2	Caracterização da matéria-prima.....	37
4.2.1	Análises físico-química.....	37
4.2.2	Análise imediata.....	37
4.3	Determinação do poder calorífico do bagaço de malte.....	37
4.3.1	Calorímetro.....	38
4.3.2	Prensagem.....	38
4.3.3	Poder calorífico inferior.....	38
4.3.4	Poder calorífico superior.....	38
4.4	Comparação do poder calorífico do bagaço de malte com outros combustíveis.....	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1	Composição físico-química do bagaço de malte	40

5.2	Análise imediata	42
5.2.1	Análise elementar	43
5.3	Poder calorífico	44
5.4	Comparações do poder calorífico superior do bagaço de malte com outros combustíveis	46
6	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

Segundo Abreu (2020), os baixos níveis de eficiência energética dos países em desenvolvimento são um problema para possíveis mudanças em alguns métodos já considerados ultrapassados. Viabilizar uma proposta de metodologia e implantar projetos pode fazer com que, o que hoje é uma ameaça seja uma oportunidade no futuro, podendo gerar benefícios no processo de desenvolvimento humano.

Dessa forma, desenvolver tecnologias e inovações de impacto voltadas para o setor de energia torna-se essencial, considerando ainda as premissas básicas de diminuição do impacto ambiental, maior alcance social e eficiência energética. A energia tem papel fundamental para o desenvolvimento e inovação, porém, quando advinda de fontes não renováveis, acarreta em sérios efeitos ambientais que colocam em risco a sustentabilidade do planeta (SILVEIRA, 2016).

Seguindo as rápidas mudanças do atual cenário energético mundial, o Brasil é hoje protagonista na produção de etanol de cana-de-açúcar e no aproveitamento dos resíduos e efluentes dos processos produtivos para geração de energia limpa e renovável (CORDEIRO, 2011). O Brasil busca ainda investir em energias limpas, como a energia solar, eólica e térmica para garantir um desenvolvimento e crescimento econômico colaborando com o meio ambiente (PNUD, 2021).

Visto que a exploração das florestas ainda é um problema para ser resolvido, algumas possibilidades viáveis são a utilização racional e eficiente de resíduos agroflorestais, ou subprodutos vegetais de cultura alimentícia, de agroindústrias ou de exploração de florestas. Tais alternativas energéticas são utilizadas diretamente por possuírem em geral baixa densidade, alta umidade, formato geométrico indesejado e baixo poder calorífico. Portanto, o processamento se faz necessário com o objetivo de aumentar a eficiência de utilização desses insumos, o que em muitos casos pode ser vantajoso pelo baixo custo (MAYER, 2007).

O problema de se verificar a disponibilidade e potencial dos resíduos agroflorestais é que dificilmente são efetuadas pesquisas para quantificá-los, como é realizado com outros insumos energéticos, onde se quantificam recursos e reservas (petróleo, carvão mineral e gás natural) ou produção anual (cana-de-açúcar e culturas alimentícias). É necessário, portanto, em grande parte dos casos, estimar-

se a disponibilidade dos resíduos. A maioria dessas estimativas pode ser considerada de razoável aceitação quando o objetivo é obter uma ordem de grandeza do potencial real desses resíduos (SILVA, 2008).

Há numerosas áreas em países em desenvolvimento onde o uso de matéria-prima de biocombustíveis melhorados pode ser substituído pela atual utilização de plantas nativas. O uso eficaz dessas novas matérias-primas de biomassa para a coprodução local de aquecimento, eletricidade e combustível de transporte também teria um impacto profundo na capacidade das populações rurais de acessar formas de energia modernas e mais limpas. Soluções energéticas que podem ser desenvolvidas com investimento modesto de capital serão um elemento crucial de uma efetiva estratégia energética (GOLDEMBERG, 2009).

Com o crescente aumento dos preços do óleo e gás natural, e com os novos incentivos gerados pela emergência do mercado de carbono, o gás de aterros sanitários, bagaço da cana-de-açúcar, biodiesel, madeira de reflorestamento, e binômio resíduo-energia estão também se tornando opções atrativas. Baseado nas atuais tendências e no desenvolvimento tecnológico espera-se que os custos de recuperação da energia de biomassa se reduzam em até dois terços em 20 anos (GOLDEMBERG, 2009).

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, em 2020 ocorreu o primeiro registro de uma cervejaria no Acre, tornando todos os estados brasileiros detentores de uma indústria do ramo. Ainda no mesmo ano, foram registradas 204 novas cervejarias no país, representando um aumento de 14,4% em relação à 2019 (BRASIL, 2021a). A indústria cervejeira gera como principal resíduo o bagaço de malte, em torno de 85% do total de resíduos (PIMENTA, 2022). De tal forma, o aumento de indústrias cervejeiras induz ao crescimento da produção de cerveja, e conseqüentemente gera-se mais resíduos. Os quais podem não ser destinados corretamente e acarretar em impacto ambiental.

Assim, com base nos conhecimentos gerados através do supracitado, o que se propõem nesse trabalho é determinar o potencial calorífico do bagaço de malte para utilizá-lo como possível fonte de energia em pequenas caldeiras. Espera-se então gerar embasamento com conhecimentos e dados para contribuir com o setor cervejeiro, podendo servir como instrumento em decisões tomadas no futuro do setor.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Determinar a capacidade energética do bagaço de malte proveniente de cervejaria de pequeno porte para fins de insumo em caldeiras.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar a caracterização do bagaço de malte oriundo de cervejaria, sob o ponto de vista energético;
- Determinar análises físico-químicas do bagaço de malte: umidades, cinzas, proteínas totais, lipídios, fibra bruta, carboidratos e energia.
- Equiparar o poder energético do bagaço de malte com os combustíveis fósseis;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Cevada

3.1.1 Aspectos Gerais

A cevada (*Hordeum vulgare* L) é um dos cereais domesticados mais antigos do mundo em cultivo. É o quinto cereal em nível de importância econômica, e tem seu principal uso na indústria cervejeira (DE MORI; MINELLA, 2012).

“A cevada é um cereal de inverno da família *Gramineae*, utilizado na indústria cervejeira para a preparação do malte, na fabricação de rações, na indústria de farinha para alimentação infantil, na de doces e confeitos, na panificação e ainda para fins terapêuticos. A espécie de maior importância é *Hordeum vulgare* L”. (NITSKE, 2013).

O seu período de germinação é de um a três dias. Suas flores são dispostas em espigas, na extremidade do colmo, e os aquênios, amarelados e ovóides. É uma cultura tipicamente de inverno que não tolera o alagamento, sendo resistente à seca quando comparada ao trigo, mas exigente em relação à fertilidade do solo (SCARTELLI, 1994).

3.1.2 Estrutura química do grão da cevada e fator nutricional

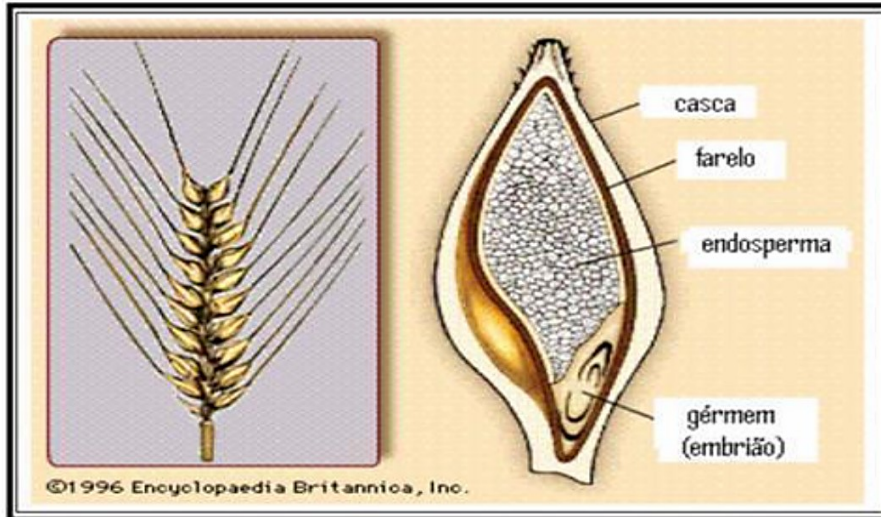
O grão da cevada é constituído por três partes: casca, embrião e endosperma (Figura 1). Na casca encontra-se a membrana externa que tem uma função protetora e separa a semente. As propriedades nutricionais se destacam por conta da fibra alimentar, vitaminas do complexo B, minerais e antioxidantes (NOVACK, 2010).

O embrião da cevada é rico em minerais e vitaminas do complexo B. Este possui três partes: o cotilédone, o epicótilo (dá origem ao broto) e a radícula (dá origem a raiz). O endosperma fornece nutrientes para o embrião, visto que tem a função de abrigar os carboidratos da planta, entre outros nutrientes como lipídeos, minerais, proteínas e vitaminas do complexo B (KRUKLIS, 2019).

O endosperma é encontrado em várias quantidades na semente, sendo o amido como o material que tem o maior nível de armazenagem. Entretanto, o

endosperma pode armazenar outros carboidratos, óleos, proteínas e pequenas quantidades de minerais e vitaminas do complexo B (NOVACK, 2010).

Figura 1 – Anatomia do grão da cevada



Fonte: Krukliis (2019)

O grão de cevada é composto por vários componentes, sendo os principais: o amido, a proteína e a fibra alimentar. Em menor número são apresentados também os lipídeos, os minerais e as vitaminas, componentes esses que sofrem variações químicas devido aos fatores genéticos e ambientais (YALÇIN *et al.*, 2007). Os diferentes componentes dos alimentos e suas quantidades exercem efeitos diferenciados no organismo (CORDEIRO, 2011). Na tabela 1 encontra-se a composição do grão da cevada em 100% da matéria seca.

Tabela 1 – Composição da Cevada

Nutriente	Concentração (%)
Matéria Seca	89%
Proteína Bruta	7-13%
Proteína degradável no rúmen (% da PB)	75,0%
Proteína não degradável no rúmen (% da PB)	25,0%
Proteína solúvel (% da PB)	20,0%
Fibra bruta	6,0%
Fibra detergente ácido (FDA)	7,0%
Fibra detergente neutro (FDN)	19-25%
Fibra detergente neutro-efetiva (% da FDN)	50,0%
Carboidratos não estruturais	56,0%
9.1% de açúcares	-
81,7% amido	-
9,2% pectina	-
Extrato etéreo	2,2%
Cinzas	2,6%
Cálcio	0,1%
Fósforo	0,4%
NDT	84,0%

Fonte: Cordeiro (2011)

3.1.2.1 Carboidratos

Os carboidratos são a maior fonte de energia do grão de cevada, representam cerca de 40 a 80% do peso seco do grão e estão localizados principalmente no endosperma. O maior componente da cevada é o amido, seguido pelas fibras alimentares e por proteínas. Outros componentes como açúcares (frutose, sacarose e glicose) também fazem parte da composição do grão (LIZARAZO, 2003). As propriedades dos carboidratos impactam na escolha da tecnologia a ser empregada nos grãos de cevada (FINCHER, 1993).

3.1.2.2 Amido

O amido constitui cerca de 50 a 65% da cevada e é o componente mais importante do grão. O amido ($C_6H_{10}O_5$) é formado no lento amadurecimento do grão de cevada, através da fotossíntese na assimilação e consequente condensação da glicose ($C_6H_{12}O_6$). O objetivo do acúmulo de amido no grão da cevada é possuir uma reserva energética para o embrião. Essa reserva será utilizada na germinação, até que a nova planta consiga suprir sua necessidade energética através da fotossíntese (PORTO, 2011).

O grânulo de amido é constituído por dois polissacarídeos, a amilose e a amilopectina (LIZARAZO, 2003). Ambos constituem os grânulos de amido e são formados por resíduos de glicose, porém diferem muito entre si, em relação ao tamanho, a maneira como cada um reage no processo de malteação e brasagem, entre outros (KUNZE, 1999).

A amilose é o menor componente do amido e possui longas cadeias de ligações α (1-4). Normalmente quando se refere a amilose, costuma se classificá-lo como um composto de cadeia linear, porém ela apresenta algumas ramificações, mas são menores quando comparados com a amilopectina. A amilose representa de 17 a 24% do amido total da cevada (PORTO, 2011).

A amilopectina é o componente de maior tamanho do amido; possuindo de 15 a 25 μm de diâmetro. A amilopectina possui predominantemente ligações α (1-4), porém também possui ligações do tipo α (1-6). É insolúvel em água (FINCHER, 1993).

3.1.2.3 Proteínas

A maior concentração (10-12%) de proteínas da cevada encontra-se no endosperma na forma de uma matriz proteica, cuja quantidade e consistência variam dependendo das condições ambientais e de cultivo (LIZARAZO, 2003). Especialmente, com relação ao uso de fertilizantes nitrogenados, o manejo incorreto deste composto aumenta o teor de proteínas do grão a níveis maiores que 12%, este valor é indesejável para a indústria cervejeira porque prolonga o processo de maltagem e produz cerveja com baixa estabilidade (EMBRAPA, 2001).

As proteínas, formadas por uma cadeia de aminoácidos, são moléculas essenciais para manter a estrutura e o funcionamento de todos os organismos vivos e podem ter diferentes propriedades e funções. São as moléculas orgânicas mais abundantes e importantes nas células e perfazem 50% ou mais de seu peso seco, estando presente em todas as partes de todas as células, uma vez que, são fundamentais sob todos os aspectos de estrutura e função celulares (MAHAM, 2002).

3.1.2.4 Lipídios

Os lipídios constituem cerca de 2% do conteúdo total da cevada. Esses encontram-se na forma de ácidos graxos, tais como ácido linoléico (58%), ácido palmítico (20%), ácido oleico (13%) e ácido linolênico (8%).

Os ácidos graxos podem influenciar nas características sensoriais da cerveja, pois podem prejudicar a ação da levedura durante o processo de fermentação (ZSCHOERPER, 2009).

3.1.3 Utilização da cevada

Seu uso principal é na alimentação animal, como grão forrageiro, pastagem, feno e silagem. O segundo maior uso é na produção de malte, consumindo cerca de 20 milhões de toneladas anualmente. A alimentação humana representa o terceiro maior uso, sendo consumida na forma integral, de malte ou de farinha (MINELLA, 2009).

Em ordem de importância econômica e social, este é o quinto grão com maior destaque mundial, ficando atrás somente do arroz, do milho, do trigo e da soja. No Brasil, quase 85% da cevada produzida é destinada a industrialização de malte, principal ingrediente para a fabricação de cerveja. Cerca de 7% é reservada para a produção de sementes e os 8% restantes são utilizados no preparo de rações para alimentação animal (FONTANA, 2016).

O Brasil é o 3º maior produtor de cerveja do mundo, atrás apenas da China e Estados Unidos, segundo pesquisa publicada em 2020 pela *Barth-Haas Group* (2020). De acordo com a Associação Brasileira da Indústria da Cerveja (CervBrasil), a produção nacional é de aproximadamente 14 bilhões de litros por ano e representa

1,6% do Produto Interno Bruto (PIB), com faturamento de R\$ 100 bilhões/ano e geração de 2,7 milhões de empregos (BRASIL, 2021b)

O comércio internacional de cevada é de aproximadamente 16,0 milhões de toneladas e sendo os principais países exportadores a Ucrânia com 26,3% do mercado, Austrália com 22,0%, União Europeia com 17,7%, Rússia com 11,1% e Argentina com 7,1% e estes detêm aproximadamente 70,0% do mercado mundial de cevada. Mas os maiores importadores mundiais são Arábia Saudita com 42,6%, China com 9,9%, Japão com 8,0%, Irã com 4,7% e Síria com 3,4% (MUZZOLON *et al.*, 2021).

3.2 Malteação

A cevada é considerada a principal matéria-prima para a indústria cervejeira (DE MORI; MINELLA, 2012). No entanto, precisa ser processada, através da malteação, para que seu sistema enzimático possa transformar o amido em açúcares fermentáveis, os quais são necessários para a produção da cerveja (KUNZE, 2006).

Neste sentido, o principal objetivo do processo de malteação é diminuir as β -glucanas presentes nas paredes celulares e, também, diminuir algumas proteínas insolúveis que dificultam o acesso das enzimas aos grânulos de amido. No processo de malteação ocorre a produção e ativação de enzimas capazes de quebrar as cadeias de amidos e proteínas do grão, fornecendo substrato solúvel e aminoácidos, os quais são indispensáveis para a posterior produção de cerveja (MUZZOLON, 2021). Esse processo contempla três etapas distintas; a maceração, a germinação e a secagem (KUNZE, 2006).

A qualidade de uma cerveja depende dos componentes envolvidos no processo, uma vez que o aroma, o sabor e a cor dependem da qualidade do malte (DRAGONE, 2010). Para obtenção do malte claro, por exemplo, as reações envolvidas no processo devem ser mantidas no nível mínimo e a taxa de remoção da umidade, em nível ideal, sem temperaturas elevadas. Já, para produzir maltes escuros, utilizam-se temperaturas elevadas enquanto o teor de umidade ainda é alto (CORDEIRO, 2011). Na Figura 2 pode-se observar discriminados maltes oriundos de variados processos

Figura 2 - Diferentes tipos de maltes oriundos de diferentes processos



Fonte: Homebeerwinecheese (2021)

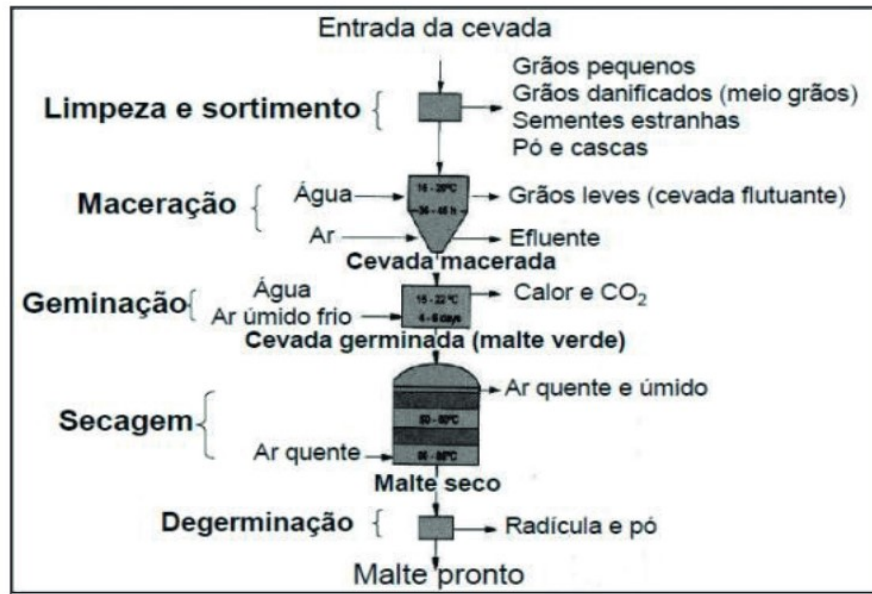
No decorrer dos anos houve muitos avanços no processo de malteação. Leva-se cerca de 8 a 9 dias para obtenção do malte da cevada. Há 50 anos, o mesmo processo levava cerca de 14 dias. Esses avanços se devem ao melhor conhecimento da fisiologia do grão da cevada, além da germinação poder ser acelerada e uniformizada (BOULTON, 2006).

Na etapa de maceração, o grão obtém teor de água necessário para dar início à ativação do metabolismo. Na germinação, ocorre o enriquecimento enzimático, aliado às transformações das substâncias de reserva. Já no processo de secagem, todos os processos químico-biológicos encerram-se e, então, produz-se o sabor, o aroma e a cor característica do malte (PORTO, 2011).

Durante a germinação, a absorção de água, com indução do metabolismo do grão de cevada para formar enzimas como as glucanases, amilases, parte das hemicelulases e proteases (MUZZOLON, 2021). A Figura 3 representa de forma resumida as etapas do processo de malteação.

A etapa de maceração, tem por objetivo iniciar o processo de umidificação dos grãos, com a retirada do estado de dormência das sementes, elevando o percentual de umidade entre 35 a 45%. Além disso, ocorre o fornecimento de oxigênio (O_2) visando suprir a necessidade dos grãos e estimular o desenvolvimento do embrião, para posteriormente germinar (PINHEIRO, 2016).

Figura 3 - Fluxograma do processo de malteação

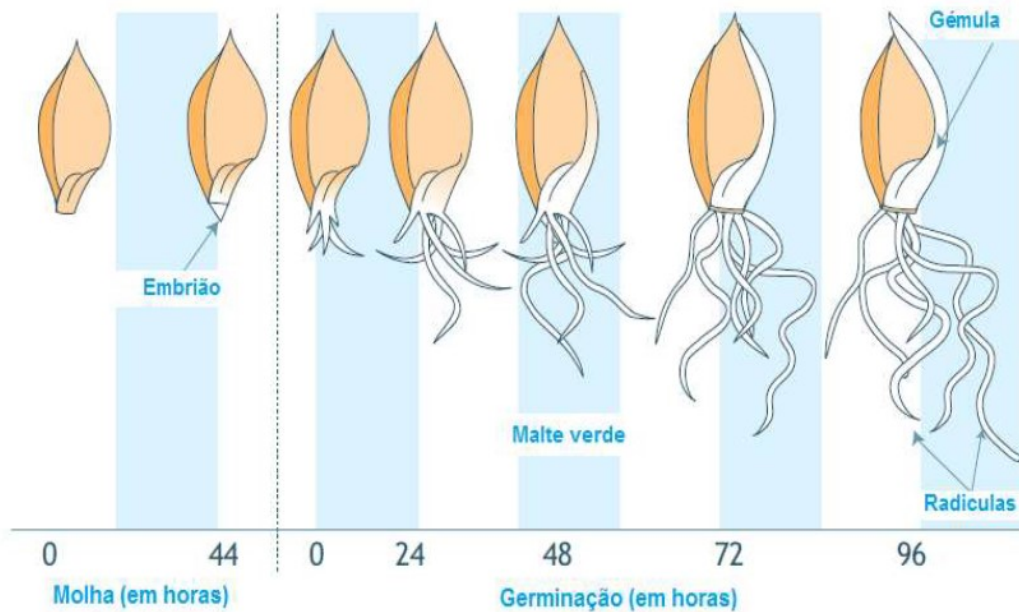


Fonte: Nohel (2016)

Ao encerrar a etapa de maceração estima-se o grau de maceração da cevada, isto é, o conteúdo de umidade do grão, determinado gravimetricamente e seu valor deve estar entre 38,0 e 42,0%. Esta análise é importante para o desenvolvimento do grão nas etapas subsequentes do processo de malteação (KUNZE, 2006).

Após a maceração inicia-se o período de germinação onde a temperatura varia de 16 a 25 °C, a umidade de 44 a 46% e a aeração é controlada, o processo é interrompido tão logo o grão tenha iniciado o processo de criação de uma nova planta. Nesta etapa do processo ocorre a formação das radículas que vão se formando e crescendo juntamente com o desenvolvimento do grão, as quais são retiradas após o processo de secagem do malte (MUZZOLON, 2021). A Figura 4 mostra a formação e desenvolvimento das radículas no grão de cevada e na Figura 5 apresenta uma foto onde é possível notar tal formação.

Figura 4 - Formação e desenvolvimento de radículas



Fonte: Fernandes, (2014)

O processo de germinação ocorre quando as enzimas amilolíticas, que são secretadas pela camada de aleurona, originam as mudanças na camada do endosperma e envolvem o corpo farinhoso e o embrião. Ou seja, a hidratação do grão, na etapa de maceração, é importante para fornecer suprimento de água para a aleurona para que ela possa sintetizar as enzimas necessárias e para que possam migrar através do complexo multicelular do endosperma (SANTOS; SANTOS; SILVA, 2010).

Figura 5 - Germinação dos grãos da cevada



Fonte: Rosenthal, (2019)

Na etapa de secagem, o processo de germinação é cessado e o grão se torna estável e possível de armazenamento, a secagem se dá através de uma rampa de aquecimento (50 – 85 °C), inicialmente com temperaturas amenas, aumentando cineticamente podendo ultrapassar 100 °C. O tempo de secagem se estende até que os grãos atinjam valores próximos de 10% de umidade (MUZZOLON, 2021). Esta é a última etapa do processo de malteação que é utilizada com o objetivo de conservar a atividade enzimática do grão, reduzir e evitar contaminações microbiológicas, eliminar o sabor “verde” e incorporar sabores característicos do grão de cevada (TELES, 2007).

As câmaras de secagem insuflam ar quente entre os grãos, com aumento gradativo de temperatura de secagem. No término desta etapa, o malte é resfriado na própria estufa, com redução da temperatura a 35 °C por 30 a 40 minutos, a fim de evitar a perda enzimática, cor do malte e paladar da cerveja (ZSCHOERPER, 2009).

3.3 Aproveitamento de resíduos agroindustriais

3.3.1 Aspectos Gerais

Um dos principais entraves para a ascensão das atividades agroindustriais no Brasil, além da falta de incentivo aos pequenos produtores e a escassez de políticas públicas mais eficientes voltadas para o dinamismo das ações desse setor, é a falta de uma logística e infraestrutura adequada para o escoamento dos produtos, que a cada dia ganha maior importância dentro das empresas. Concomitante a isso, outra problemática relacionada à agroindústria brasileira é a grande quantidade de resíduos gerados durante o processamento/beneficiamento de suas matérias-primas (VIANA; CRUZ, 2016).

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura – FAO estima que a produção mundial de resíduos agroindustriais atinja 1,3 bilhão de toneladas por ano, dando conta que, 1/3 dos alimentos potencialmente destinados ao consumo humano são desperdiçados, seja como resíduos, oriundos do processamento ou como perca na cadeia produtiva. O aproveitamento de resíduos agroindustriais se mostra, frente ao desperdício de alimentos, e ao beneficiamento e processamento desses, uma grande oportunidade de desenvolvimento de

subprodutos, como também agregação de valor perdido, e utilização sustentável desses resíduos (COSTA *et al.*, 2017).

Proveniente da produção industrial, os resíduos industriais, ou resíduos sólidos, são considerados um dos responsáveis por grande parte dos impactos ambientais que ocorrem atualmente. Na sua grande maioria, são considerados perigosos e acarretam consequências negativas não apenas para o meio ambiente, mas também para a saúde da população (SOUZA *et al.*, 2021).

Sobre o reaproveitamento de resíduos, uma forma de atuação é a de buscar utilizações viáveis e econômicas para os resíduos agroindustriais gerados. Sempre que possível, o resíduo deverá se constituir em matéria-prima para um novo processo, constituindo uma segunda transformação. Há muitos exemplos disso, entre os quais, cita-se o processamento da cana-de-açúcar no Brasil, cujo bagaço serve de alimentação animal até cogeração de energia elétrica para venda, atendendo demandas regionais (CEREDA, 2000).

De forma geral, os resíduos da agroindústria de processamento de produtos de origem vegetal (frutas, oleaginosas, fibrosas, madeiras, etc.) e origem animal (laticínios, avicultura de corte, aquicultura, etc.) apresentam em suas composições diferentes constituintes, que abrem muitas oportunidades de agregação de valor pela aplicação do conceito de biorrefinaria (ROSA, 2011).

Biorrefinaria é uma unidade produtiva que integra a geração de energia e produtos de valor agregado elevado a partir de biomassa. O conceito de biorrefinaria é fundamentado na conversão integral de recursos renováveis como fonte de macromoléculas a exemplo da celulose, hemicelulose, lignina, pectina, taninos, amido, ácidos graxos, colágeno, quitosana, corantes naturais e outros constituintes químicos, em produtos processados com valor agregado (energia, produtos químicos, bio-materiais e alimentos). Esse conceito preconiza ainda a minimização dos impactos ambientais e maximização do uso do recurso renovável, considerando o ciclo de vida dos produtos obtidos (FERNANDO *et al.*, 2006).

Desse modo, a valorização dos resíduos apresenta-se como alternativas para reparar e/ou evitar problemas decorrentes da má gestão dos resíduos, e reutilizar tornando-os uma matéria-prima. Assim, a fim de sanar os problemas decorrentes da má e incorreta disposição dos resíduos, o sistema de valorização vem com a ordem prioritária de reduzir a geração desses resíduos, traduzindo na máxima segregação

nas fontes geradoras, a reutilização e a reciclagem dos resíduos, visando seu reconhecimento como matéria-prima (SANTOS, 2015).

3.3.2 Subprodutos agroindustriais

O termo subproduto foi originado para caracterizar aqueles produtos resultantes de um processamento industrial, onde o objetivo final da produção é um outro produto. O uso desse termo traz sempre alguma conotação negativa a esses alimentos. Entretanto, quando analisados sob o prisma da nutrição, muitas vezes se apresentam como fontes nutricionais com qualidades excepcionais, como o farelo de soja, caroço de algodão, etc. (MENEGHETTI; DOMINGUES, 2008).

Essa valorização dos resíduos agroindustriais como suportes nutricionais para a produção de bioprodutos oferece uma alternativa de diversificação de produtos para agricultores e para a agroindústria. Ainda, atende à preocupação com a limitação de recursos fósseis, problemas ambientais e sustentabilidade, juntamente com a preferência do consumidor por produtos naturais, biodegradáveis e ambientalmente amigáveis (ALENCAR *et al.*, 2020).

O bagaço e a palha de cana-de-açúcar destacam-se entre os cultivos agrícolas, sendo aproveitados para combustão em caldeiras para gerar energia nas usinas, além do excedente energético ter a possibilidade de ser acrescido ao sistema elétrico (MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, 2015b). Na Tabela 2, mostram-se a massa específica e o poder calorífico dos principais resíduos agrícolas.

Tabela 2 - Massa específica e poder calorífico de resíduos orgânicos

Resíduo	Umidade (%b.u.)	Massa Específica (kg.m³)	Poder Calorífico Inferior (KJ.kg⁻¹)
Bagaço de cana-de-açúcar	50	150	7.535
Casca de amendoim	12	150	12.977
Casca de arroz	12	140	12.977
Palha de café	13	250	15.488
Palha de trigo	20	160	13.395
Sabugo de milho	13	220	17.598
Serragem de madeira	40	300	8.372

Fonte: Silva *et. al.*, (2001)

Ainda segundo Silva *et al.* (2001) a composição e o poder calorífico dos resíduos agrícolas são termicamente equivalentes à madeira, por essa razão, merecem toda atenção para sua utilização como combustível.

3.3.3 Subprodutos gerados na indústria cervejeira

O setor cervejeiro do Brasil é o mais importante do mercado sul-americano e um dos maiores do mundo, ocupando a terceira posição no *ranking* de produção, atrás apenas de China e Estados Unidos (ABREU, 2011). A produção de cerveja no Brasil, em 2020, de acordo com a Associação Brasileira da Indústria da Cerveja (CervBrasil) foi de 14 bilhões de litros por ano e representou 1,6% do Produto Interno Brasileiro (BRASIL, 2021b).

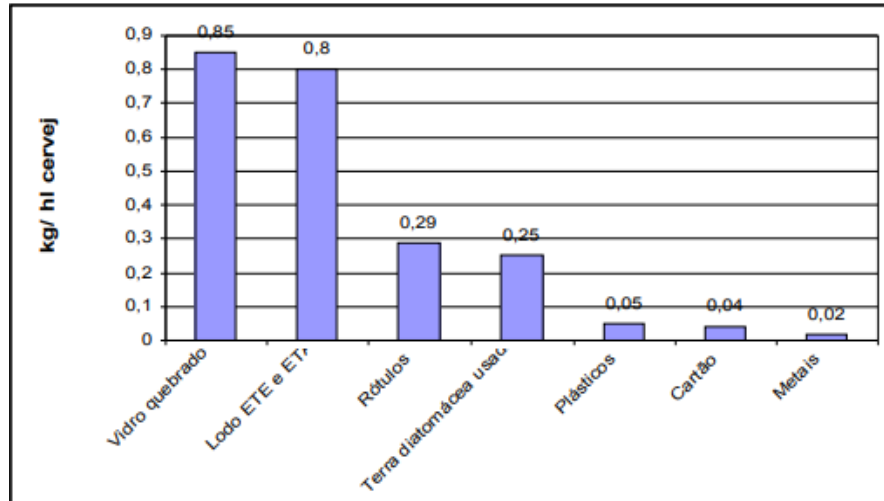
Os principais resíduos gerados na produção de cerveja são: bagaço de cevada, *trub*, terra diatomácea, resíduo de levedura e material de embalagem.

- Bagaço de malte: é o subproduto mais gerado na produção de cerveja, consiste basicamente na casca do grão de cevada obtida após o processo de preparação do mosto.
- *Trub*: outro resíduo sólido da produção de cerveja e contém basicamente proteínas coaguladas insolúveis de alto peso molecular, substâncias amargas não isomerizadas do lúpulo, polifenóis, carboidratos e ácidos graxos.
- Terra diatomácea: são também resíduos sólidos da cerveja, sendo material rico em silicatos e com grande área superficial comumente utilizado como elemento filtrante para remover a turbidez e proporcionar estabilidade coloidal e melhora no aspecto da cerveja final.
- Excesso de levedura: durante a fermentação, as células de levedura aumentam sua massa entre 3 e 6 vezes. Após a maturação da cerveja, o fermento restante no fundo do tanque também é coletado como resíduo.

Para que se tenha uma ideia do que isso representa em termos mássicos, nas Figuras 6 e 7 são apresentados gráficos comparativos das quantidades de resíduos gerados. O gráfico da Figura 6 apresenta valores que não consideram os

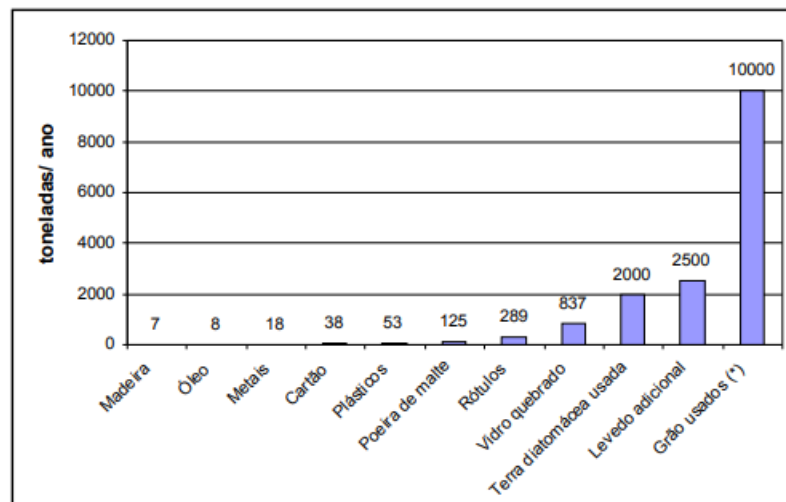
grãos usados (UNEP, 1996), enquanto o gráfico da Figura 7 apresenta dados de uma cervejaria europeia que produz 1 milhão de hl cerveja/ ano (EC, 2003).

Figura 6 - Geração de resíduos sólidos na cerveja



Fonte: UNEP (1996)

Figura 7- Geração de resíduos em uma cervejaria europeia



Fonte: EC (2003)

O bagaço de malte é o subproduto mais gerado na produção de cerveja, sendo produzido de 14 a 20 kg a cada 100 litros de cerveja fabricada. Consiste basicamente na casca do grão de cevada obtida após o processo de preparação do mosto. A quantidade de cada um dos compostos variará dependendo do tempo de colheita e uso dos grãos, da moagem, do processo de maltagem e da quantidade e qualidade dos aditivos usados no processo de fabricação da cerveja (ALDANA *et al.*,2020).

3.4 Demanda e oferta de energia no Brasil

As fontes de energia podem ser classificadas em primária e secundária. A energia primária são as fontes oriundas da natureza, em sua forma direta, como por exemplo: o petróleo, o gás natural, o xisto, o carvão mineral, os resíduos vegetais e animais, a energia solar e a eólica e os produtos da cana-de-açúcar, como o caldo de cana, o melaço e o bagaço. A energia secundária é o resultado dos diferentes centros de transformação que têm como destino os diversos setores de consumo e, eventualmente, outro centro de transformação, por exemplo, óleo diesel, óleo combustível, gasolina (automotiva e de aviação), gás liquefeito de petróleo - GLP, nafta, querosene (iluminante e de aviação), gás de xisto, eletricidade, carvão vegetal e álcool etílico (COPEL, 2008).

A Tabela 3 relaciona as fontes de energias ofertadas no Brasil no ano de 2020, mostrando que a energia renovável nos últimos dez anos teve um percentual expressivo de aumento.

Tabela 3 – Oferta, em porcentagem, de energia renovável e não renovável no Brasil

Fontes	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Energia não renovável	56,4	58,2	59,5	60,5	58,7	56,5	56,8	54,5	53,9	51,6
Petróleo e Derivados	38,5	39,3	39,2	39,3	37,2	36,5	36,1	34,3	34,3	33,1
Gás natural	10,2	11,5	12,8	13,6	13,7	12,3	12,9	12,4	12,2	11,8
Carvão mineral e coque	5,7	5,4	5,6	5,7	5,9	5,5	5,7	5,7	5,3	4,9
Urânio (U3O8)	1,5	1,5	1,4	1,3	1,3	1,5	1,4	1,4	1,5	1,3
Outras não renováveis	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Energia renovável	43,6	41,8	40,5	39,5	41,3	43,5	43,2	45,5	46,1	48,4
Hidráulica	14,7	13,8	12,5	11,5	11,3	12,6	11,9	12,6	12,4	12,6
Lenha e carvão vegetal	9,6	9,1	8,3	8,2	8,3	8,0	8,3	8,8	8,8	8,9
Derivados da cana	15,7	14,4	16,1	15,8	16,9	17,5	17,0	17,3	18,0	19,1
Eólica	0,1	0,2	0,2	0,3	0,6	1,0	1,2	1,4	1,6	1,7
Solar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3
Outras não renováveis	3,5	3,4	3,4	3,7	4,2	4,5	4,7	5,3	5,2	5,7

Fonte: Brasil (2021b)

Analisando a Tabela 3 pode-se verificar que a cana-de-açúcar corresponde a cerca de 19% da matriz energética brasileira, a partir da participação do etanol, do

bagaço, da bioeletricidade, e do biogás (BRASIL, 2021b). Pode-se pressupor que as diversas biomassas têm bastante potencial para serem estudadas e analisadas.

3.4.1 Biomassa

O termo biomassa possui diferentes conceitos que variam de acordo com a perspectiva utilizada (geração de energia ou ecologia). Sob a perspectiva da ecologia, biomassa é a quantidade de matéria viva em forma de uma ou mais espécies de organismos, presente em determinado *habitat* (CORREA; MOURA, 2020). Já sob a perspectiva de geração de energia, o conceito de biomassa é destinado ao aproveitamento energético. É uma fonte primária de energia, não fóssil, que consiste em matéria orgânica de origem animal ou vegetal. A biomassa contém energia armazenada sob a forma de energia química (BRASIL, 2021b).

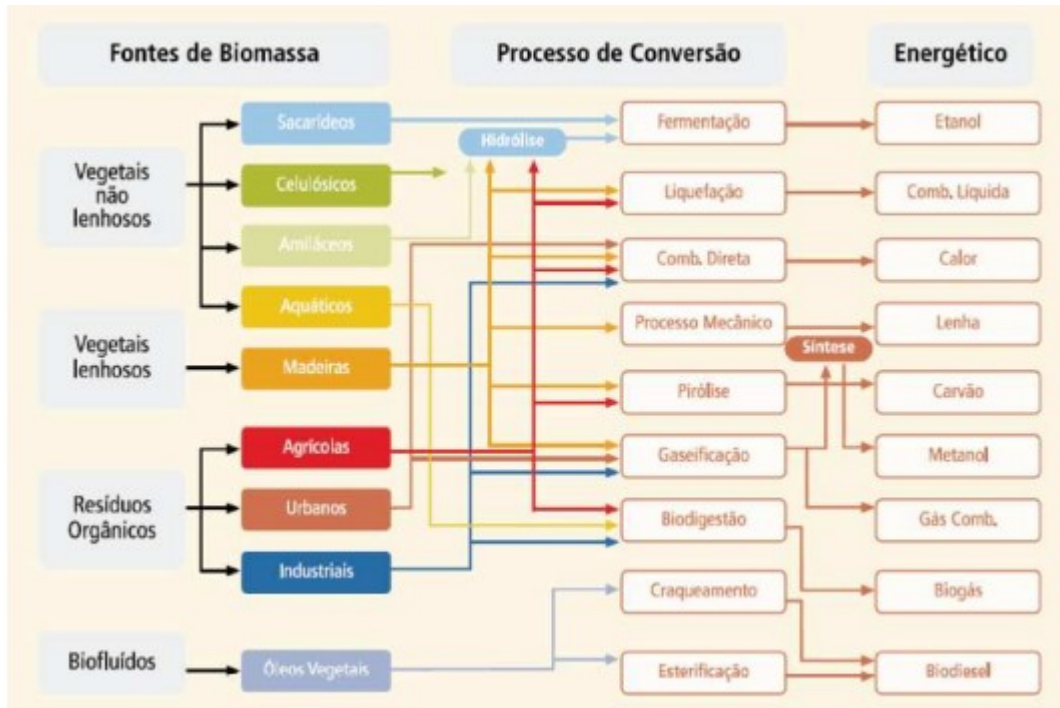
A composição da biomassa ocorre em formações naturais e, portanto, possui composição e morfologia muito variada em função das condições locais e ambientais, onde é produzida, sendo basicamente composta de Carbono, Hidrogênio, Nitrogênio e Oxigênio (CANES, 2005).

Portanto, as fontes de biomassa para a geração de energia elétrica são muito variadas, como por exemplo: lenha; resíduos agrícolas, industriais ou de parques e jardins; e culturas energéticas dedicadas que são plantações de florestas ou gramíneas destinadas especificamente para esse fim (MAZZARELA, 2007). Entretanto, as vantagens da utilização da biomassa para produção de energia elétrica ainda são significantes. Dentre elas podemos citar o baixo custo de produção (quando se trata de resíduos), o fato de ser uma fonte renovável e a obtenção de balanço nulo de emissões de dióxido de carbono, uma vez que apesar de sua queima provocar a liberação desse composto na atmosfera, este havia sido anteriormente absorvido pelos organismos que deram origem ao combustível (FONTOURA; BRANDÃO, 2011).

O Brasil é reconhecidamente beneficiado pelas suas características edafoclimáticas, o que permite que em seu território diversas fontes de biomassa prosperem de forma abrangente e competitiva. Devido ao seu grande potencial pode ser utilizado na geração de energia (EPE, 2018). A produção de madeira, em forma de lenha, carvão vegetal ou toras também gera uma quantidade de resíduos, que pode ser igualmente aproveitado na geração de energia elétrica (CANES, 2005).

Podem-se observar na Figura 8 que são muitos caminhos possíveis, com extensa variedade de fontes de biomassa e tecnologias para os processos de conversão. Esta abundância torna de grande importância a verificação da rota mais eficiente a ser utilizada com a fonte escolhida. Essa eficiência baseia-se na análise de custo *versus* benefício de cada rota (FONTOURA; BRANDÃO, 2011).

Figura 8 - Diagrama dos processos de conversão energética da biomassa



Fonte: Brasil (1982)

Cabe ao empreendedor verificar qual das tecnologias destacadas é a mais adequada, dentro das rotas tecnológicas possíveis para cada tipo de biomassa.

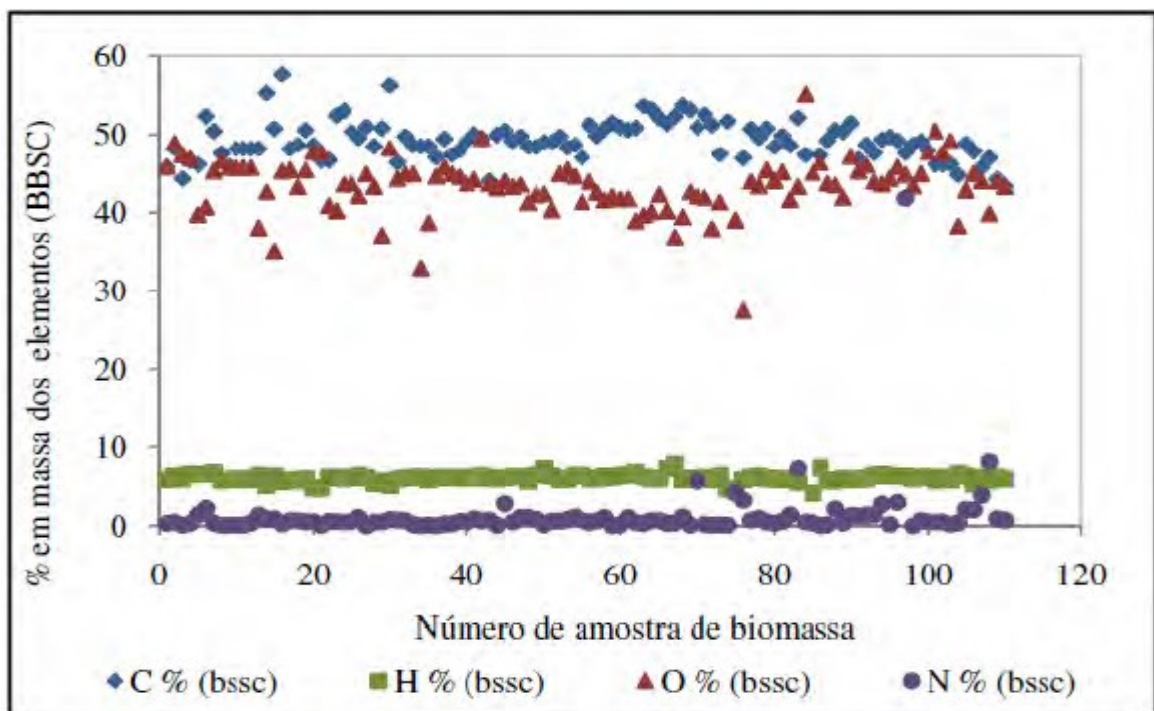
3.4.2 Composição da biomassa

A composição da biomassa varia em função de fatores como localização geográfica, clima, tipo de solo e parte da planta (raízes, caule, galhos) e é de fundamental importância para a compreensão do comportamento da biomassa frente a diferentes tratamentos térmicos. A composição pode ser determinada por meio da análise imediata (teor de umidade, teor de materiais voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo), da análise química elementar (teores de carbono,

hidrogênio, nitrogênio e oxigênio) e da análise química em termos de teor de lignina, celulose, hemicelulose e extrativos (MACEDO, 2012).

Apesar de a biomassa apresentar diversas formas, é possível verificar na Figura 9 que a sua composição elementar se mantém constante independentemente do tipo de biomassa. Devido a sua estrutura de hidratos de carbonos, apresenta entre 30 e 40% em base seca sem cinzas de oxigênio (IDEIAS, 2008).

Figura 9 - Porcentagem de carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), e nitrogênio (N) em base seca sem cinzas.



Fonte: Ideias (2008)

3.4.3 Características da biomassa na combustão

As características que afetam a combustão da biomassa podem ser divididas em dois tipos principais:

- *Termoquímicas*: entre as características mais importantes encontram-se a entalpia de reação de combustão, a temperatura de combustão, a energia de ativação e o teor de cinzas. Estas características são influenciadas pelas propriedades dos combustíveis (teor de umidade, minerais, etc.) e da instalação de queima (TABARÉS *et al.*, 2000).

- *Taxa de combustão*: esse fator afeta tanto o processo de combustão no interior da partícula como à sua superfície. Propriedades como tamanho da partícula, condutividade térmica, densidade, calor específico e porosidade são propriedades físicas que afetam os processos internos. Porém essas propriedades também afetam os processos à superfície e estão relacionadas com a transferência de calor desde o ambiente exterior para a partícula, com a circulação do ar e com a transferência de massa entre os voláteis e o ar (AZEVEDO, 2002).

Algumas dessas características que fazem da biomassa um bom combustível são a facilidade de secagem, elevado poder calorífico, baixa temperatura de ignição, elevado teor de voláteis, elevada taxa de combustão e baixa energia de ativação (TABARÉS *et al.*, 2000).

3.3.4 Poder calorífico

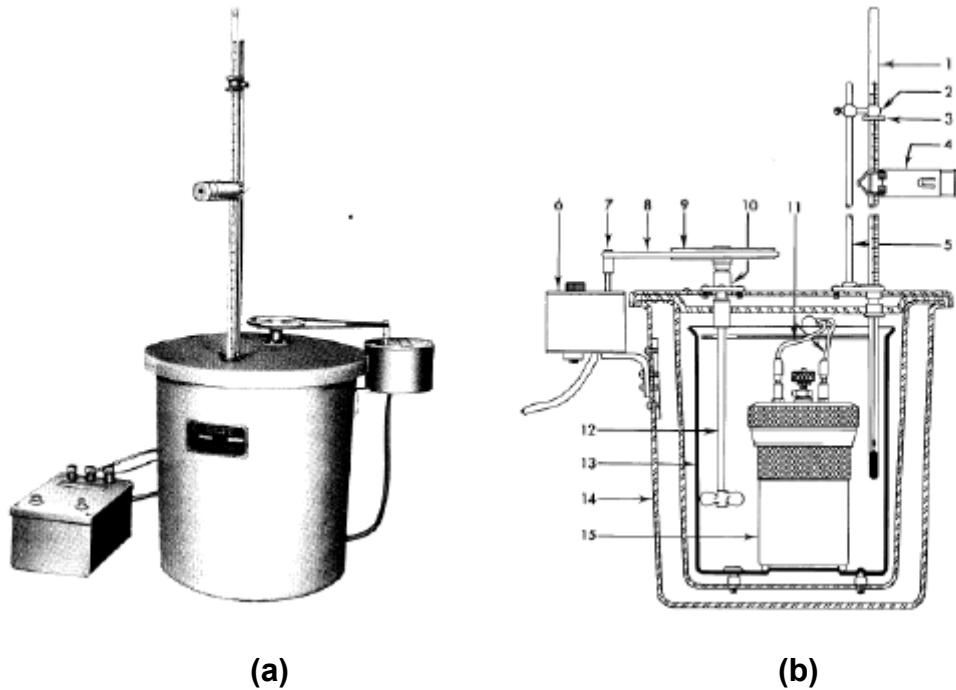
O poder calorífico é um excelente parâmetro para se avaliar a potencialidade energética de combustíveis de biomassa. É definido como a quantidade de energia liberada na combustão completa de uma unidade de massa do material combustível. O poder calorífico é chamado de superior (PCS) quando a combustão se efetua a volume constante e no qual a água formada durante o processo é condensada e o calor latente do vapor d'água não é perdido (EMBRAPA, 2011).

A modelagem com o uso de regressões lineares simples ou múltiplas pode ser fundamental para analisar a relação entre variáveis e realizar predições, seja do PCS, dos componentes químicos elementares (carbono - C, hidrogênio - H e oxigênio - O) ou do teor de cinzas. Esses componentes não são os únicos presentes na biomassa vegetal, mas são os de maior relevância a serem estudados devido às relações entre esses elementos (C, H, O e A) e o poder calorífico (HAIR JR *et al.*, 2009).

O PCS é obtido em laboratório, mediante o emprego de aparelho chamado de calorímetro ou determinado analiticamente, desde que a composição elementar do combustível e a entalpia de combustão dos elementos ou compostos gasosos sejam conhecidas (CORDEIRO, 2011). No calorímetro (Figura 10), mede-se o aquecimento provocado no sistema, pela queima completa da massa de um combustível.

Realizada a combustão, aguarda-se determinado tempo até se constatar o equilíbrio do processo (PERA, 1990).

Figura 10 - Calorímetro simples (a) e calorímetro com bomba plana (b)



Fonte: Parr Instrument Company (2011)

O processo permite a aplicação fundamental da calorimetria para o cálculo do PCS (Equação 1).

$$PCS = \frac{C \times \Delta t}{m} \quad (1)$$

Em que,

C = capacidade equivalente do calorímetro corresponde à quantidade de calor necessária para elevar a temperatura medida a 1° C.

m = massa do combustível (em gramas)

Δt = variação da temperatura ocorrida no processo, até o equilíbrio.

O parâmetro de maior influência no poder calorífico dos combustíveis é o teor de umidade. A umidade aumenta a energia necessária à pré-ignição e diminui o calor liberado pela combustão (SILVA *et al.*, 2001).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Matéria-prima

Para realizar as análises foi utilizado o bagaço de malte úmido oriundo de uma pequena cervejaria localizada na região Sudoeste do Paraná, na cidade de Francisco Beltrão.

Foram coletados 2 kg aproximadamente de amostra para realização das análises. O bagaço de malte foi obtido depois da filtração na própria cervejaria, armazenado em embalagem hermeticamente fechada e transportado com cuidado até o laboratório de análise. Este foi refrigerado em freezer doméstico à -18 °C durante o período de desenvolvimento da parte experimental deste trabalho.

4.2 Caracterização matéria-prima

4.2.1 Análises físico-químicas

As análises físico-químicas foram feitas em triplicata, e o valor de cada análise correspondeu à média das três repetições. O bagaço de malte úmido foi submetido às seguintes determinações: teor de umidade, teor de cinzas (CZ), proteínas totais, lipídios, fibra bruta, carboidratos e energia. As análises foram feitas baseadas na metodologia do Instituto Adolf Lutz (2005).

4.2.2 Análise imediata

Seguindo a metodologia de Cordeiro (2011), a determinação da composição química baseia-se nas normas ASTM D-1762-64 e ABNT "Carvão-Vegetal – Análise Imediata".

Para análise imediata do bagaço de malte seco são necessárias análises físico-químicas do teor de umidade e voláteis, bem como do teor de cinzas. O carbono fixo é obtido por diferença. Para tanto, os dados desta análise foram obtidos de Schmitt (2021).

4.2.3 Análise elementar

A análise elementar é geralmente feita utilizando equipamentos caros e por técnicos treinados, enquanto a análise imediata é realizada por instrumentos mais acessíveis e de fácil manuseio (SCHMITT, 2021). Por esta razão, diversos autores, incluindo Ghugare, Tiwary e Tambe (2014), Parikh, Channiwala e Ghosal (2007), e também Shen *et al.* (2010), propuseram correlações empíricas para o cálculo da análise elementar a partir dos teores de Carbono Fixo (CF), Materiais Voláteis (MV) e Cinzas (CZ), conforme as equações dispostas na Tabelas 4. Todos os teores da análise elementar foram calculados em %m/m e base seca (b.s.).

Tabela 4 – Equações utilizadas para o cálculo da análise elementar teórica

Referências	Equações
	$C = 0,635 * CF + 0,460 * MV - 0,095 * CZ$ (2)
Shen <i>et al.</i> (2010)	$H = 0,059 * CF + 0,060 * MV + 0,010 * CZ$ (3)
	$O = 0,340 * CF + 0,469 * MV - 0,023 * CZ$ (4)

Fonte: Adaptado de Schmitt (2021)

A título de comparação entre o uso de correlações e o método experimental, o bagaço de malte foi também analisado experimentalmente quanto aos teores de carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N) no Laboratório Multiusuário Central de Análises – CA, situado na UTFPR - Câmpus Pato Branco. Utilizou-se um analisador elementar de CHNS-O (modelo Euro EA, Euro Vector), que consiste em um sistema com reator que realiza a combustão dinâmica e espontânea da amostra com uma subsequente separação cromatográfica (CG), com dois dispensadores de amostras para sólidos. O gás comburente utilizado é o oxigênio, e o gás de arraste é o hélio. Após a separação os gases de interesse foram detectados em um detector de condutividade térmica (TCD). As condições foram; tempo de execução de 300 s, de oxidação de 6,6 s, atraso da amostra de 5 s, temperatura do forno de 980 °C e temperatura do forno do cromatógrafo de 300 °C.

Entretanto, os teores de S e N não foram possíveis de detecção devido às limitações do equipamento. Assim, utilizou-se os valores teóricos de S e N encontrados na literatura, sendo considerado a média desse estudo encontrado (MAHMOOD *et al.*, 2012). O teor de O foi encontrado por diferença, considerando o

teor de cinzas para expressar em base livre de cinzas e comparar diretamente com a literatura, visto que são expressos em porcentagem mássica (%m/m) e base seca (b.s.).

4.3 Determinação do poder calorífico do bagaço de malte

Esta análise fornece o conteúdo energético da biomassa, ou seja, a quantidade máxima de energia liberada na combustão completa, dividido em poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI). O PCS corresponde ao conteúdo total energético quando a biomassa é queimada na presença de ar e a água gerada no processo está em sua forma condensada. Já o PCI determina a energia liberada no processo de queima à pressão constante, quando a água gerada no processo está na fase vapor, não contemplando o calor latente da água contida na biomassa (LOPES, 2016).

A partir dos resultados obtidos na análise imediata e elementar foi possível estimar teoricamente o valor do PCS do bagaço de malte, por meio de várias correlações matemáticas (Tabelas 5 e 6). O PCI, por sua vez, foi calculado através da Equação 15, descontando o valor de H (Equação 13) da média do PCS.

$$\text{PCI [MJ kg}^{-1}\text{]} = \text{PCS} - 0,2183 * \text{H} \quad (15)$$

Tabela 5 – Equações para cálculo do PCS a partir da análise imediata

Referências	Equações (MJ kg ⁻¹)
Jiménez; González (1991)	PCS = -10,81408 + 0,3133 * (CF + MV)
Cordero <i>et al.</i> (2001)	PCS = 0,3543 * CF + 0,1708 * MV
Parikh; Channiwala; Ghosal (2005)	PCS = 0,3536 * CF + 0,1559 * MV - 0,0078 * CZ
Sheng; Azevedo (2005)	PCS = -3,0368 + 0,2218 * MV + 0,2601 * CF

Fonte: Adaptado de Schmitt (2021)

Tabela 6- Equações para cálculo do PCS a partir da análise elementar

Referências	PCS (MJ kg ⁻¹)
PCS a partir da Análise Elementar	
Sheng; Azevedo (2005)	$PCS = -1,3675 + 0,3137 * C + 0,7009 * H + 0,0318 * O$
Demirbas (1997)	$PCS = 0,335 * C + 1,423 * H - 0,154 * O - 0,145 * N$
Jenkins e Ebeling (1985) apud. Sheng; Azevedo (2005)	$PCS = -0,763 + 0,301 * C + 0,525 * H + 0,064 * O$
Annamalai; Sweeten; Ramalingam (1987)	$PCS = 0,3516 * C + 1,16225 * H - 0,1109 * O + 0,0628 * N + 0,10465 * S$
Schmitt (2021)	$PCS = 0,335 * C + 1,423 * H - 0,154 * O - 0,145 * N$

Fonte: Adaptado de Schmitt (2021)

4.4 Comparação do poder calorífico do bagaço de malte com outros combustíveis

Foi comparado o poder calorífico do bagaço de malte encontrado com os combustíveis fósseis e com as biomassas usuais. Gerando tabelas e argumentos para verificar se o bagaço de malte pode ser utilizado diariamente na indústria.

A comparação foi feita apenas utilizando o poder calorífico superior, o poder calorífico inferior não foi considerado nesse estudo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Composição físico-química do bagaço de malte

A determinação físico-química do bagaço de malte foi realizada de acordo com os métodos referenciados no item 4.2. As análises foram feitas em triplicata. Portanto, o valor final de cada análise corresponde à média das três repetições. Na Tabela 7 constam os referidos resultados obtidos.

Tabela 7 - Composição físico-química do bagaço de malte

Análises	Resultados	Unidades
Carboidratos	12,22	g.100g ⁻¹
Energia	101,20	Kcal.100g ⁻¹
Fibra Bruta	2,55	g.100g ⁻¹
Gordura Totais	1,23	g.100g ⁻¹
Minerais Totais	1,46	g.100g ⁻¹
Proteínas Totais	4,15	g.100g ⁻¹
Umidade	79,85	g.100g ⁻¹

Fonte: Autoria Própria (2022)

Comparando os valores da Tabela 7 aos obtidos por Costa *et.al.* (1994), Cordeiro (2011) e Schmitt (2021) observa-se que o conteúdo de proteínas totais, gorduras totais, fibra bruta e minerais totais são inferiores aos da literatura. Os conteúdos de carboidratos e energia não foram encontrados em literatura. Ascheri *et al.* (2007) e Cordeiro (2011) encontraram valores de minerais totais semelhantes ao desse estudo.

As diferenças entre valores apresentadas nesse estudo para os da literatura são compreensíveis quando se sabe que a composição centesimal do bagaço de malte função é influenciada por diversos fatores, tais como: variedade da cevada, o tempo de colheita, os cereais utilizados na maltagem e o processo tecnológico empregado na cervejaria.

De acordo com Ascheri *et al.* (2007), o bagaço de malte caracteriza-se por ter alto teor de umidade 86% (b.u) que limita seu tempo de útil até 30 dias para seu consumo *in natura*. A elevada quantidade de água no resíduo úmido pode resultar

em outros fatores limitantes como a dificuldade no transporte a longo distância e dificuldades no armazenamento.

O uso de bagaço de malte na alimentação animal apresenta limitações devido ao alto teor de umidade e teores de matéria seca geralmente baixas. Apresenta também quantidade de proteínas totais insuficientes para alimentação animal, mas na forma seca torna-se uma fonte rica em proteínas. Logo, pode-se inferir que para um bom aproveitamento do bagaço de malte na alimentação animal este deve sofrer um processo de secagem para se conseguir quantidades satisfatórias de nutrientes para sua nutrição (CORDEIRO, 2011). A adição de uma operação unitária para o aproveitamento do bagaço para este fim, por tanto, acarreta em aumento de custos.

Embora a grande aplicação do bagaço de malte seja para ração animal, o mesmo também pode ser utilizado para alimentação humana, o alto valor de fibras e os resíduos de proteínas e açúcares tornam esse bagaço com potencial de utilização em produtos elaborados na panificação, como pão de forma e biscoitos, onde o incremento principalmente em fibra traz benefícios ao consumidor de ponto de vista nutricional e de funcionalidade (MATTOS, 2010). Ainda segundo o mesmo autor, analisou e caracterizou um pão de forma com 10% de bagaço de malte (que sofreu processo de secagem e moagem) e concluiu que após a adição do resíduo o pão apresentou uma cor escura, com aparência de pão integral e também ficou mais ácido devido o bagaço apresentar um pH ácido. Tais constatações podem afetar diretamente na aceitação do produto alimentício acrescido deste resíduo.

Diante do exposto, corrobora-se o fato de que uma nova destinação a este resíduo seja fomentada, tornando-o um subproduto da indústria cervejeira. Pimenta (2022) concluiu em seu trabalho que o uso do bagaço de malte como fonte percussora de bio-óleo para a indústria química via pirólise assistida por micro-ondas é promissor e tem potencial para ser ainda mais estudado através de outros métodos ou com vistas em outros biocombustíveis. Schmitt (2021) por sua vez, em seus estudos apontou um desempenho favorável e satisfatório de queima de bagaço de malte para uso em usinas de energia a partir de biomassas. A autora indicou ainda que os resultados obtidos fornecem informações para um estudo de aumento de escala, bem como o planejamento e controle de destino deste resíduo e ressalta a contribuição como fonte sustentável e renovável de energia.

5.2 Análise Imediata

A composição imediata fornece a eficiência de conversão de uma biomassa em processos termoquímicos, além de uma estimativa dos produtos que podem ser gerados nestes processos, uma vez que seus parâmetros estão fortemente ligados ao teor energético da biomassa (ÁVILA, 2018).

Os valores médios obtidos para os teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo por Schmitt (2021), são apresentados na Tabela 8. Os resultados são apresentados como um valor médio das três repetições realizadas, em base seca.

Tabela 8 – Porcentagem de materiais voláteis (MV), cinzas (CZ), e carbono fixo (CF)

Análise imediata	Schmitt (2021) (% , b.s)
Carbono Fixo	16,5
Cinzas	3,0
Materiais Voláteis	80,5
Umidade	2,4

Fonte: Schmitt (2021)

O teor de umidade corresponde à massa de água presente na biomassa. Um baixo teor deste parâmetro é desejado para diminuir o gasto de energia no processo de conversão, reduzindo o custo e a quantidade de calor necessária para a secagem da biomassa. Entretanto, ao ser submetido à análise de U, o RC apresentou um baixo teor, de 2,4%, podendo ser considerado um material pouco higroscópico, ou seja, absorveu pouca água durante sua armazenagem. (SCHMITT, 2021).

O carbono fixo (CF) é a massa restante depois do desprendimento dos compostos voláteis, definido pela quantidade de carbono presente na biomassa. Ainda, o teor de CF possui ligação com o conteúdo energético da biomassa, visto que àquelas com baixo teor de CF são mais rapidamente queimadas, diminuindo o tempo de residência do processo. O teor de CF do RC, de 16,5%, está em conformidade com as demais biomassas apresentadas em literatura com valores que variam de 12,6% a 19,1%. (MENA, 2014; DIONIZIO, 2017).

As cinzas são os resíduos resultantes após a combustão completa do combustível sólido. Deseja-se, por tanto, um baixo teor deste parâmetro na biomassa. As substâncias presentes nas cinzas não participam diretamente do processo de combustão, entretanto, podem causar incrustações e corrosões em

equipamentos, além de problemas na ignição e na taxa de aquecimento do processo, reduzindo o poder calorífico da amostra (RIBEIRO, 2017).

O teor de voláteis é determinado pela quantidade de massa da amostra que volatiliza quando submetida a temperaturas de até 900 °C em atmosfera inerte. Este parâmetro determina a facilidade de queima da biomassa, afetando seu comportamento quando submetido a processos de degradação térmica (SCHMITT, 2021).

5.2.1 Análise elementar

A composição elementar é um importante parâmetro quando o objetivo é o uso da biomassa como fonte de energia, sendo uma propriedade significativa para cálculos de massa e energia em processos de conversão térmica (SCHMITT, 2021).

Os valores das análises de C, H, O dos trabalhos de literatura utilizados para a obtenção do teor médio estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Valores de análise elementar

Composição Elementar	Autoria Própria (2022)		Schmitt (2021)	Pereira (2012)	Schirmer (2017)	Domenico (2013)
	Bagaço de malte % ^a	Bagaço de malte % ^b	Resíduo Cervejeiro	Sabugo de milho	Cavaco de madeira	Sub.B ^c
Carbono	26,32	47,22	47,50	46,25	48,10	37,43
Hidrogênio	3,05	5,83	5,90	5,98	5,99	3,80
Oxigênio	60,68	43,30	42,90	45,08	45,80	9,91
Nitrogênio	-	4,23	4,20	0,44	0,08	0,70
Enxofre	-	0,74	0,70	0,81	0,00	2,71

^a experimental; ^b calculado; ^c carvão sub-betuminoso B

Fonte: Autoria Própria (2022)

Os teores de C e O aparecem em maior abundância em uma biomassa. Grandes quantidades de O indicam a facilidade de ignição da amostra em processos convencionais, enquanto altos teores de C contribuem para o aumento do poder calorífico superior (PCS) da biomassa (DIONIZIO, 2017). O bagaço de malte apresentou resultado experimental de 26,32% de carbono, sendo menor que as quantidades apresentadas na Tabela 9. Já o teor de oxigênio obteve valores

maiores que as outras biomassas referenciadas na tabela, mostrando que possui uma alta quantidade de ignição.

O teor de H influencia no poder calorífico inferior (PCI) das biomassas, devido à formação de água durante o processo de combustão, além de determinar a quantidade de gás H₂, de alto valor agregado, que pode ser gerado em processos termoquímicos (BARBIERI, 2013). O teor de H experimental, de 3,0% se encontra um pouco abaixo da faixa de valores apresentadas pelas outras biomassas, que são de 3,80 a 5,99%.

Esta análise é utilizada também para avaliação do conteúdo de N e S da biomassa, uma vez que estes compostos influenciam nas emissões dos gases poluentes óxidos de nitrogênio e enxofre em processos termoquímicos. Os teores de N e S presentes em biomassas apresentam vantagem ambiental em comparação a combustíveis fósseis e são altamente atrativos para processos de combustão, pois resultam em baixas emissões gasosas poluentes (LOPES, 2016). Os valores obtidos empiricamente estão dentro do intervalo comparado com as outras biomassas, mostrando que o resíduo cervejeiro pode ser uma alternativa limpa comparada com outras fontes de energias.

Ao analisarmos os teores de C, H e O obtidos por análises experimentais, estes apresentaram valores semelhantes da literatura, e se encontram dentro das faixas de valores das biomassas referenciais, com exceção do C que esteve abaixo dos estudos referenciados no trabalho. Este é um ótimo indicativo de que as análises utilizadas são confiáveis. Por fim, os valores obtidos na análise elementar do bagaço de malte em correlações empíricas estão em conformidade com as demais biomassas, indicando potencial de aplicação em processos de combustão.

5.3 Poder calorífico

O poder calorífico de uma biomassa está diretamente ligado ao seu conteúdo energético e é dependente da composição do material, sendo o C e H os compostos com maior contribuição para o aumento deste valor (LOPES, 2016). Os resultados teóricos de poder calorífico superior e inferior do RC, calculados a partir das correlações empíricas, estão apresentados nas Tabelas 10 e 11.

Os valores de PCS e PCI determinados para o RC estão em conformidade com os dados da literatura de diferentes biomassas, que se encontram entre 15,23 -

24,30 MJ kg⁻¹ para o PCS e 14,27-22,70 MJ kg⁻¹ para o PCI. Ainda, é importante ressaltar os baixos desvios apresentados nos valores de PCS encontrados a partir das diferentes correlações empíricas, trazem confiabilidade para os resultados deste trabalho.

Tabela 10 - Resultados do cálculo de poder calorífico superior (PCS) para o resíduo cervejeiro (RC)

Referências	PCS (MJ kg ⁻¹)
PCS a partir da Análise Imediata	
Jiménez; González (1991)	19,62
Cordero <i>et al.</i> (2001)	19,64
Parikh; Channiwala; Ghosal (2005)	18,41
Sheng; Azevedo (2005)	19,19
Schmitt (2021)	18,80
Média	19,1 ± 0,5
Referências	PCS (MJ kg ⁻¹)
PCS a partir da Análise Elementar	
Sheng; Azevedo (2005)	18,98
Demirbas (1997)	16,83
Jenkins e Ebeling (1985) apud.	18,10
Sheng; Azevedo (2005)	
Annamalai; Sweeten; Ramalingam (1987)	18,91
Schmitt (2021)	19,80
Média	18,52 ± 0,9

Fonte: Autoria Própria (2022)

Tabela 11 - Resultados do cálculo de poder calorífico inferior (PCI) para o resíduo cervejeiro (RC)

PCI (MJ kg ⁻¹)	
PCI ^a	17,83
PCI ^b	17,24

^a calculado a partir da Análise Imediata; ^b calculado a partir da Análise Elementar.

Fonte: Autoria própria (2022)

5.4 Comparações do poder calorífico superior do bagaço de malte com outros combustíveis

Comparando o poder calorífico superior encontrado na Tabela 11 com outras biomassas pode-se dizer que, o bagaço de malte estudado apresentou poder calorífico superior maior que a madeira de bambu, $18,66 \text{ MJ Kg}^{-1}$, encontrada por Brito *et al.* (1987), casca de coco de babaçu, com $18,84 \text{ MJ Kg}^{-1}$, citado por Vale *et al.* (2007), bagaço de cana seco, $18,25 \text{ MJ Kg}^{-1}$, encontrado por Silva (2008), madeira da espécie Pinho com $18,84 \text{ MJ Kg}^{-1}$, citado por Pera (1990), e casca de amêndoas, $18,79 \text{ MJ Kg}^{-1}$, casca de sementes de girassol $17,99 \text{ MJ Kg}^{-1}$, e caroço de azeitona $18,99 \text{ MJ Kg}^{-1}$, segundo Dermibas (2006).

Observa-se que o PCS do bagaço de cana com 50% de umidade encontrado por Silva (2008) possui um poder calorífico superior de $9,52 \text{ MJ Kg}^{-1}$, sendo bem menor que o poder calorífico superior encontrado para o resíduo de cerveja. Deve-se destacar que bagaço de cana com menor umidade tem um poder calorífico desejável e com um bom aproveitamento em geração de energia.

A torta de pinhão manso composta de endocarpo (casca) e albúmen apresentou PCS médio de $21,45 \text{ MJ Kg}^{-1}$ (VALE *et al.*, 2011). Já a borra de café, $23,02 \text{ MJ Kg}^{-1}$ (VALE *et al.*, 2007), o coco-da-baía verde, $23,60 \text{ MJ Kg}^{-1}$, o carvão vegetal com umidade abaixo de 10%, $27,13 \text{ MJ Kg}^{-1}$, e a madeira de bracatinga, $31,13 \text{ MJ Kg}^{-1}$ (PERA, 1990). Todas essas biomassas possuem poder caloríficos maiores que o bagaço de malte encontrado nesse trabalho.

Comparando a biomassa estudada com os combustíveis fósseis mais utilizados nas indústrias para queimas, pode-se perceber, que o gás natural apresenta poder calorífico superior de $49,81 \text{ MJ Kg}^{-1}$, o coque apresenta valores de $27,80 \text{ MJ Kg}^{-1}$ e o gás liquefeito de petróleo $49,90 \text{ MJ Kg}^{-1}$, segundo Cordeiro (2011). Assim como esperado os combustíveis fósseis possuem poder calorífico superior comparando com biomassas, mas em contrapartida, os impactos ambientais são maiores, comparando com os das biomassas.

6 CONCLUSÕES

- O bagaço de malte apresentou nas análises quantidades satisfatórias de todos físico-químicas, um bom valor de carboidratos (12,22%), e seguindo com valores expressivos de proteínas (4,15%) e fibra bruta (2,55%), assim podendo ser utilizado tanto para ração animal como para alimentação humana. Sendo que para ambos seu aproveitamento é melhor se seguido de secagem reduzindo assim sua umidade e concentrando mais seu nutriente.
- Quando submetido à análise imediata, o bagaço de malte apresentou valores satisfatórios de matéria volátil (80,5%) e carbono fixo (16,5%), parâmetros estes que conferem uma maior facilidade de ignição da amostra. O bagaço de malte apresentou ainda um baixo teor de cinzas (3,0%), evitando incrustações e corrosões de equipamentos.
- Os valores médios de poder calorífico obtidos para o bagaço de malte foram de 19,3 MJ kg⁻¹ para o PCS e 17,8 MJ kg⁻¹ para o PCI. Estes valores são maiores que algumas biomassas utilizadas como fonte energética na indústria, demonstrando que o resíduo pode ser amplamente utilizado para geração de energia.
- Todas as formas de reaproveitamentos de energias são bem-vindas e significativas, pois estamos diante de um grande problema para desenvolver formas de preservar os recursos naturais e reduzir impactos causados por processos industriais.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M. W. de. **Padrões de consumo de energia em países em desenvolvimento: uma análise de decomposição estrutural para o Brasil** – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2020.
- ALDANA, C.D; OLIVEIRA, L.C; WALDMAN, W.R. Uma Visão Geral da Valorização de Subprodutos Gerados na Indústria Cervejeira. **Revista Virtual de Química**. Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências e Tecnologia para a Sustentabilidade. 2020.
- ALENCAR, V.N.S; *et al.* **Resíduos Agroindustriais: Uma Alternativa Promissora e Sustentável na Produção de Enzimas por Microrganismos**. Congresso Internacional da Agroindústria – CIAGRO, 2020.
- ALVES, J. L. F. *et al.* **Demonstrating the suitability of tamarind residues to bioenergy exploitation via combustion through physicochemical properties, performance indexes, and emission characteristics**. BioEnergy Research, 2020.
- ANNAMALAI, K.; SWEETEN, J. M.; RAMALINGAM, S. C. **Estimation of Gross Heating Values of Biomass Fuels**. 1987.
- ÁVILA, I. **Avanços nas pesquisas em combustão e mitigação de emissões na geração de energia: Sistematização crítica da produção científica**. 99 f. Universidade Estadual Paulista - UNESP, 2018
- AZEVEDO, J.L.T. **Utilização da biomassa: avaliação dos resíduos e utilização de pellets em caldeiras domésticas**. Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico. 112p. 2002.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Anuário da Cerveja 2020**, 2021^a. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/com-crescimento-de-14-4-em-2020-numero-de-cervejarias-registradas-no-brasil-passa-de-1-3-mil/anuariocerveja2.pdf>>. Acesso em: 09 de junho de 2021.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Mercado cervejeiro cresce no Brasil e aumenta interesse pela produção nacional de lúpulo e cevada**, 2021b. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-e-pecuaria/2021/08/mercado-cervejeiro-cresce-no-brasil-e-aumenta-interesse-pela-producao-nacional-de-lupulo-e-cevada> Acesso em: 09 de junho de 2021.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional**. Brasília, DF: MME, 1982. Disponível em: < <http://gbio.webhostusp.sti.usp.br/?q=livro/fontes-de-biomassa>>. Acesso: 10 nov. 2021.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2021: Ano base 2020** / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2021.

BOULTON, C.; QUAIN, D. **Brewing yeast & fermentation**. London: Blakwell Publishing, 2006. 644p.

CANES, S.E.P. **Potencial Bioenergético – Uma abordagem da Geração de Energia Elétrica Utilizando Casca de Arroz e Resíduos de Madeira Através do Estudo do Caso**. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. 79p. 2005.

CEREDA, M.P. **Manejo, uso e tratamento da industrialização da mandioca**. São Paulo: Fundação Cargill. v. 4, 320 p. 2000.

COPEL Distribuição S. A. **Conceituação de Energia**. 2008. Disponível em: <<https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F0%2F7507b0aba2e082ff0325740f00649745>>. Acesso em: 09 novembro de 2021.

CORREA, C.V.B; MOURA, J.P. **Análise das rotas Tecnológicas com a utilização de biomassas regionais para produção de Biogás em Substituição ao Gás de cozinha nas Regiões Ribeirinhas da Amazônia**. Universidade do Estado do Amazonas – UEA, 2020.

COSTA FILHO, D. V.; SILVA, A. J.; SILVA, P. A. P. SOUSA, F. C. **Aproveitamento de Resíduos Agroindustriais na Elaboração de Subprodutos**. II Congresso Internacional das Ciências Agrárias – COINTER, 2017.

CORDEIRO, L. G. **Caracterização e viabilidade econômica do bagaço de malte oriundo de cervejarias para fins energéticos**. João Pessoa - PB, 2011.

CORDERO, T. *et al.* **Predicting heating values of lignocellulosics and carbonaceous materials from proximate analysis**. 2001.

DEMIRBAS, A. **Calculation of higher heating values of fatty acids**. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. v. 76, n. 5, p. 431–434, 1997

DIONIZIO, A. F. **Aproveitamento energético de resíduos agroindustriais no Distrito Federal**. 97 f. Universidade de Brasília - UNB, 2017.

DOMENICO, M. Di. **Gaseificação de carvão mineral brasileiro na presença de ortossilicato de lítio visando a produção aumentada de hidrogênio**. 198 f. 2013. Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

DRAGONE, G.; SILVA, J. B. A. **Cerveja**, in: VENTURINI FILHO, W. G. *Bebidas Alcoólicas: Ciência e Tecnologia*. São Paulo: Blucher, 2010.

EMBRAPA. **Cevada BR-2**. Embrapa portal de pesquisa agropecuária. 2001. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/pesquisa/tecnolog/cevada2.htm>>. Acesso em: 27 outubro 2021.

EMBRAPA. **Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal**. Embrapa portal de pesquisa

agropecuária. 2011. Disponível em: <<https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/200/211>>. Acesso em: 11 nov 2021

EUROPEAN COMMISSION/ DIRECTORATE GENERAL JRC- JOINT RESEARCH CENTRE/ INSTITUTE FOR PROSPECTIVE STUDIES/ EUROPEAN INTEGRATED POLLUTION PREVENTION AND CONTROL (IPPC) BUREAU, **Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries**, IPPC, Sevilha, 2003.

DE MORI, C.; MINELLA, E. **Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da cevada**. Documentos online n° 139/2012. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA trigo. Passo Fundo/RS Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do139_4.htm. Acesso em: 13 out. 2021.

FAO (2004). Food barley improvement. Disponível em: <https://www.fao.org/common-pages/search/en/?q=barley>. Acesso em: 18 de outubro de 2021.

FERNANDES, M.S.S. **Análise de compostos voláteis do malte por ‘Headspace’ – Microextração em fase sólida acoplada ao GC-MS: Quantificação do dimetilsulfureto**. 119f. Dissertação (Mestrado em controle de qualidade). Faculdade de Farmácia – Universidade do Porto. 2014.

FERNANDO, S.; ADHIKARI, S.; CHANDRAPAL, C.; MURALI, N. Biorefineries: Current Status, Challenges, and Future Direction. **Energy & Fuels** - 2006.

FINCHER, G.B. “Carbohydrates of the barley grain” in MACGREGOR , A.W (org). **Barley chemistry and technology**, Minnesota, Usa: American Association Os Cereal Chemists, Inc., 1993.486p.

FONTANA, A. C. A cultura da cevada. **Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas da Fait**. n. 1. maio, 2016.

FONTOURA, C. F. V. T.; BRANDÃO, L. E. T. **Avaliação de Projeto de Investimento em Usina Termelétrica à Capim-Elefante: Uma Abordagem pela Teoria de Opções Reais**. Dissertação de Mestrado – Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011. 86p

GOLDEMBERG, J. **Biomassa e Energia**. Química Nova [online]. 2009, v. 32, n. 3, pp. 582-587. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000300004>>. Acesso em: 25 outubro 2021

HAIR JR., J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.

HOMEBEERWINECHEESE. **Malts and Extracts** (2021). Disponível em: <<http://www.homebeerwinecheese.com/beer.htm>>. Acesso em: 25 out. 2021.

IDEIAS, P.M.C. **Influência da matéria volátil na combustão de biomassa em leite fluidizado**. Dissertação em Engenharia do Ambiente, Universidade de Aveiro. 158p. 2008.

IFBM. **The Reference in the Barley to the beer** – Tecnologia de Malteação, cap 8, 2014.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2005. 1018 p.

JIMÉNEZ, L.; GONZÁLEZ, F. **Study of the physical and chemical properties of lignocellulosic residues with a view to the production of fuels**. Fuel .1991.

KRUKLIS, K. L. **Cevada: Importância da utilização na alimentação humana e a aplicabilidade na gastronomia**. UNIJUÍ - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul Departamento de Educação Continuada, Ijuí, 2019.

KUNZE, W. **Technology brewing and malting**. 2 ed. Berlin: Vlb Berlin, 1999. 726.p.

KUNZE, W. **Tecnología para Cerveceros y Malteros**. 1 ed. Berlin: Versuchs-und Lehranstalt für Brauerei Berlin, 2006, 1075 p.

LIZARAZO, D. X. C. **Parâmetros Físico-Químico, Germinativos e Microestruturais de Qualidades em Cultivares Brasileiros de Cevada Cervejeira**. UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

LOPES, F. C. R. **Análise cinética da decomposição térmica do resíduo da semente do guaraná (Paullinia cupana) em atmosfera oxidante**. 157 f. 2016. - Universidade Estadual de Campinas, 2016.

MACEDO, L. A. **Influência da composição da biomassa no rendimento em condensáveis do processo de torrefação**. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM - 189/2012, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 49p. 2012.

MAHAM, L. K.; SCOTT-STUMP, S.M.A. **Krause: alimentos, nutrição e dietoterapia**. 10 ed. São Paulo: Roca, 1157p. 2002.

MAHMOOD, A. S. N. *et al.* The intermediate pyrolysis and catalytic steam reforming of Brewers spent grain. Elsevier B.V., 2012.

MATTOS, C. **Desenvolvimento de um pão fonte de fibras a partir do bagaço de malte**. Monografia em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2010.

MAYER, F. D.; CASTELLANELLI, C.; HOFFMAN, R. **Geração de Energia Através da Casca de Arroz: Uma Análise Ambiental**. Em: Anais do XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (XXVII ENEGEP), Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 09 a 11 de outubro de 2007.

MAZZARELLA, V.N.G. **Jornada Madeira Energética - Capim Elefante com Fonte de Energia no Brasil: Realidade Atual e Expectativas**. IPT-BNDS – Rio de Janeiro, maio de 2007.

MENA, L. E. H. **Estudo experimental da pirólise lenta de bambu (*Dendrocalamus giganteus* Munro) e caracterização do carvão vegetal**. 127 f. 2014. - Universidade Estadual de Campinas, 2014.

MENEGHETTI, C.C; DOMINGUES, J.L. Características Nutricionais e Uso de Subprodutos da Agroindústria na Alimentação de Bovinos. **Revista Eletrônica Nutritime**, v.5, n° 2, p.512-536, Março/Abril, 2008.

MINELLA, E. **Melhoramento da cevada**. In: Melhoramento de espécies cultivadas, 2ª edição. UFV, Viçosa, p. 255-299, 2009.

MUZZOLON, E.; MELATI, J.; LUCHETTA, L.; BRAVO, C.E.C.; TONIAL, I.B. **Avanços em ciência e tecnologia de alimentos: volume 3** – Guarujá, SP: Científica Digital, 2021.

NITZKE, J. A. **Cevada: características botânicas**. 2013. Disponível em: . Acesso em: 13 out. 2021.

NOHEL, F. Senai: Rio de Janeiro, 409f., 2016

NOVACK, M. M. E. **Avaliação nutricional de grãos de cevada submetidos a diferentes processamentos**. 2010. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

PAAR INSTRUMENT COMPANY. Disponível em :<
https://www.parrinst.com/default.cfm?page_ID=211>. Acesso em 11 de nov 2021.

PARIKH, J.; CHANNIWALA, S. A.; GHOSAL, G. K. **A correlation for calculating elemental composition from proximate analysis of biomass materials**. 2007.

PERA, H. **Geradores de vapor: um compendio sobre a conversão de energia com vistas a preservação de ecologia**. São Paulo: Fama, 1990.

PEREIRA, T.V; SEYE, O. **Caracterização física térmica de biomassa local**. UEMS - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. Mato Grosso do Sul, 2012.

PIMENTA, F. S. **Pirólise de bagaço de malte assistida por micro-ondas**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Engenharia Química.

PINHEIRO, L.D.G.S. **Caracterização e processamento de cevada cultivada no cerrado brasileiro**. Dissertação 31 f. 2016. (Mestrado em Tecnologias Químicas e Biológicas). Instituto de Química da Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2016.

PORTO, P.D. **Tecnologia de Fabricação de Malte: Uma Revisão**. UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande, 2011.

PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Energia limpa e acessível**. 2021. Disponível em: <<https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html>>. Acesso em 25 de outubro de 2021.

RIBEIRO, N. S. **Estudo termogravimétrico da combustão e oxidação de misturas carvão mineral-biomassa**. 97 f. 2017. - Universidade Estadual Paulista - UNESP, 2017.

ROSA, M. F.; Souza Filho, M S. M.; Figueiredo, M. C. B.; Morais, J. P. S.; Santaella, S.T., Leitão, R.C. **Valorização de Resíduos da Agroindústria**. II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais – II SIGERA 15 a 17 de março de 2011 - Foz do Iguaçu, PR.

ROSENTHAL, R. **O que é a maltagem e como funciona seu processo**. 2019. Disponível em: <<https://www.hominilupulo.com.br/maltagem/>>. Acesso em: 27 outubro de 2021.

SANTOS, L.S.C. **Obstáculos para a Valorização dos Resíduos Sólidos Urbanos no Centro Oeste**. Centro de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão Oswaldo Cruz. 2015.

SANTOS, I. J.; SANTOS, Y. L.; SILVA, P. H. A. Curvas de Dois Processos de Hidratação da Cevada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.12, n.1, p.1-8, 2010.

SCARLATELLI, F.P. **O uso de resíduo de cervejaria (cevada) na alimentação de vacas leiteiras**. Gado Holandês. São Paulo. V. 60, nº 427.p.p 26-28,1994.

SHENG, C.; AZEVEDO, J. L. T. **Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data**. 2005.

SHENG, C.; AZEVEDO, J. L. T. **Modeling biomass devolatilization using the chemical percolation devolatilization model for the main components**. 2002.

SCHMITT, D.K. **Estudo do Potencial bioenergético do resíduo de cervejaria considerando suas propriedades físico-químicas, parâmetros bioenergético e comportamentos de combustão**. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), 2021.

SCHIRMER, W.N. **Caracterização de biomassa residual de fábrica de papel-cartão para aproveitamento energético**. Engenharia Ambiental e Mestrados em Bioenergia e Engenharia Sanitária e Ambiental; Doutor em Engenharia Ambiental pela UFSC, 2017.

SILVA, J.S.; PRECCI, R.L.; SOBRINHO, J.C.; SILVA, J.N.; Capítulo 4: Fontes de Energia para Secagem. **Secagem e Armazenagem de Café – Tecnologia e Custos**. Ed. Universidade Federal de Viçosa, 2001.

SILVA, M. S. MORAIS, A. S. **Avaliação Energética do Bagaço da Cana em Diferentes Níveis de Umidade e Graus de Compactação**. XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008.

SILVEIRA, A. D. *et al.* **Análise do Sistema Nacional de Inovação no setor de energia na perspectiva das políticas públicas brasileiras**. Cadernos EBAPE.BR [online]. 2016, v. 14, n. spe [Acessado 25 Outubro 2021] , pp. 506-526. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1679-395117320>>.

TABARÉS, J.; ORTIZ, L.; VIAR, F. **Feasibility study of energy use for densificated lignocellulosic material (briquettes)**. Fuel 79: 1229 – 1237, 2000.

TELES, J. A. **Estudo da produção de mosto concentrado lupulado a partir de extrato de malte concentrado, xarope de alta maltose e lúpulo**. 88 f. 2007. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas, SP, 2007.

TIPOS DE MALTE. **Beermaker**. (2016). Disponível em: <<http://www.homebeerwinecheese.com/beer.htm>>. Acesso em: 25 out. 2021. UNEP/ IE- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME/ INDUSTRY AND ENVIRONMENT, **Environmental management in the brewing industry**, UNEP Technical Report Series nº33, UNEP, Paris, 1996

VALE, A. T.; DENTIL, L. V. G.; GONÇALVEZ, J.C.; DA COSTA, A, F. **Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grãos de café e de madeira**. Duke. Cerne, vol. 13, número 004, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil, 2007.

VALE, A. T.; MENDES, R. M.; AMORIM, M.R.; DANTAS, V.F.S. **Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso**. Cerne, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil, 2011.

VIANA, L.G. CRUZ, P. S. **Reaproveitamento de Resíduos Agroindustriais**. IV Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2016.

YALÇIN, E. *et al.* **Effects of genotype and environment on β -glucan and dietary fiber contents of hull-less barley grown in Turkey**. Food Chemistry, v.101, p.171-176, 2007.

ZSCHOERPER, O.P. **Apostila curso cervejeiro e malteador – AMBEV**. Porto Alegre: Ambev, 2009. 71 p.