



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco
Departamento de Educação a Distância
Curso de Especialização em Ensino de Ciências
Polo Palmares



DEISE GOMES DE OLIVEIRA ALBUQUERQUE

**A REUTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO UMA
ALTERNATIVA NO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

RECIFE
2022

DEISE GOMES DE OLIVEIRA

**A REUTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO UMA
ALTERNATIVA NO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso - TCC -
apresentado ao Curso de Especialização em
Ensino de Ciências – anos finais do Ensino
Fundamental “Ciências é dez”, do Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Pernambuco, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Cláudio Roberto de
Albuquerque

Orientanda: Deise Gomes de Oliveira
Albuquerque

RECIFE
2022

Catálogo na fonte

Bibliotecária Graziella da Silva Moura, CRB4- 1862

A345r

Albuquerque, Deise Gomes de Oliveira.

A reutilização do bagaço da cana-de-açúcar como uma alternativa no desenvolvimento sustentável. / Deise Gomes de Oliveira Albuquerque. – Recife: O Autor, 2022.

39 f.: il.

Orientadora: Prof. Me. Cláudio Roberto Albuquerque.

Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Pernambuco, DEaD. Especialização em Docência para Educação Profissional e Tecnológica (EDEPT), Recife/Palmares, 2022.

Formato: pdf

1. Ensino de Ciências. 2. Biocombustíveis. 3. Bagaço de cana. 4. Sustentabilidade. I. Albuquerque, Cláudio Roberto (Orientador). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco. III. Título.

CDD 372.35

FOLHA DE APROVAÇÃO

A REUTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO UMA ALTERNATIVA NO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Por

DEISE GOMES DE OLIVEIRA ALBUQUERQUE

Este trabalho de conclusão de curso em forma de TCC foi apresentado em vinte e nove de janeiro de dois mil e vinte e dois como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Ensino de Ciências – anos finais do ensino fundamental. O (a) candidato (a) foi arguido (a) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

(Me. Cláudio Roberto Albuquerque)
Orientador

(Dra. Maria Luiza Ribeiro Bastos da Silva)
Examinador interno

(Dr. Robson Américo de Barros)
Examinador externo

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, o que seria de mim sem a fé que eu tenho nele.
À minha família, por sua capacidade de acreditar em mim e investir em mim.
Ao Professor Cláudio Roberto de Albuquerque, companheiro de Caminhada ao longo do Curso.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que se mostrou criador, que foi criativo. Seu fôlego de vida em mim me foi sustento e me deu coragem para questionar realidades e propor sempre um novo mundo de possibilidades.

Ao Professor Cláudio Roberto de Albuquerque, com quem partilhei o que era o broto daquilo que veio a ser esse trabalho. Nossas conversas durante e para além dos grupos de estudos foram fundamentais. Desejei a sua participação na banca examinadora deste trabalho desde o princípio.

Agradeço também ao meu esposo Fagner Veloso, que de forma especial e carinhosa me deu força e coragem, me apoiando nos momentos de dificuldades. Quero agradecer também ao meu filho João Lucas Gomes, que embora não tivessem conhecimento disto, mas iluminaram de maneira especial os meus pensamentos me levando a buscar mais conhecimentos. E não deixando de agradecer de forma grata e grandiosa meus pais Edvan Sales e Severino Gomes, a quem eu rogo todas as noites a minha existência.

Epígrafe

"A ciência é mais que um corpo de conhecimento, é uma forma de pensar, uma forma cética de interrogar o universo, com pleno conhecimento da falibilidade humana."

Carl Sagan.

RESUMO

O bagaço da cana-de-açúcar (BCA) é uma biomassa de resíduos agrícolas obtida do processamento de cana-de-açúcar encontrada em abundância em todo o mundo. Devido à sua abundância, pesquisadores vêm aproveitando essa biomassa para inúmeras aplicações, como na sustentabilidade energética e ambiental. O trabalho tem como objetivo proporcionar uma oportunidade para discutir conversões de energia, explicitando os tipos de energia envolvidos no processo, a necessidade de alimentação do sistema e a eficiência no aproveitamento da energia, promovendo assim uma conscientização para o uso racional de energia e uma discussão sobre vários tipos de conversão de energia em um sistema comum no dia a dia do estudante.

A metodologia aqui utilizada com base em uma proposta investigativa na análise da obtenção do biocombustível base da cana-de-açúcar e a geração de energia com o bagaço da cana-de-açúcar. Esta investigação vai ser desenvolvida no Colégio Municipal Aduauto Caricio - Belém de Maria - PE, no 9º Ano do Ensino Fundamental II. A pesquisa apresentada neste trabalho foi desenvolvida utilizando os procedimentos de estudo bibliográficos, com coleta de dados pela técnica bibliométrica. Conforme os resultados encontrados neste estudo, o BCA pode ser utilizado em diversas aplicações como adsorvente, resina de troca iônica, briquetes, cerâmicas, concreto, cimento e compósitos poliméricos. Assim o Bagaço da cana-de-açúcar possui grande potencial para atender a demanda global de energia e incentivar a sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: Biomassa. Bagaço da Cana de Açúcar. Energia Renovável. Reutilização. Sustentabilidade Econômica Ambiental.

ABSTRACT

Sugarcane bagasse (BCA) is a biomass of agricultural residues obtained from sugarcane processing found in abundance throughout the world. Due to its abundance, researchers have been taking advantage of this biomass for numerous applications, such as energy and environmental sustainability. The work aims to provide an opportunity to discuss energy conversions, explaining the types of energy involved in the process, the need to feed the system and the efficiency in energy use, thus promoting an awareness of the rational use of energy and a discussion about various types of energy conversion in a common system in the student's daily life. The methodology used here is based on an investigative proposal in the analysis of obtaining the biofuel based on sugarcane and the generation of energy with sugarcane bagasse. This investigation will be developed at Colégio Municipal Aduauto Caricio - Belém de Maria - PE, in the 9th Year of Elementary School II. The research presented in this work was developed using the bibliographic study procedures, with data collection by the bibliometric technique. According to the results found in this study, BCA can be used in various applications such as adsorbent, ion exchange resin, briquettes, ceramics, concrete, cement and polymeric composites. Thus, sugarcane bagasse has great potential to meet the global demand for energy and encourage environmental sustainability.

Keywords: biomass. Sugarcane bagasse. Renewable energy. reuse. Environment Economic Sustainability.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVOS	2
2.1	Objetivo geral	2
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
3.1-	PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS E BIOPRODUTOS USANDO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO MATÉRIA-PRIMA	4
3.2-	BIOCOMBUSTÍVEIS A PARTIR DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR	5
3.2.1	Bioetanol	6
3.2.2	Outros biocombustíveis	6
3.2.3	Bioprodutos	7
3.3-	ANÁLISE TECNOECONÔMICA	12
4.	METODOLOGIA	15
4.1-	MATERIAL E MÉTODO	17
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	23
7.	REFERÊNCIAS	24
8.	ANEXO - TERMO DE ANUÊNCIA	30

1. INTRODUÇÃO

As questões de segurança energética e conservação ambiental provavelmente continuarão sendo dois dos principais desafios de longo prazo enfrentados pela existência humana globalmente. Enquanto isso, biomassa de lignocelulose, como bagaço de cana-de-açúcar (BCA), palha de milho, palha de cereais e resíduos lenhosos florestais (por exemplo, bétula, abeto, eucalipto) são substâncias com alto teor energético que podem amenizar a crise energética iminente.

São materiais orgânicos obtidos de fontes biológicas, principalmente biomassa vegetal que é a fonte global mais abundante de materiais renováveis. O (BCA) é um desses resíduos que estão em abundância globalmente, que tem a chave para resolver problemas energéticos bem como problemas ambientais de seu descarte na natureza.

A produção anual de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) globalmente é de cerca de 1,6 bilhões de toneladas e isso gera cerca de 279 milhões de toneladas métricas de bagaço (CHANDEL *et al.* 2019). As perspectivas globais para a produção de cana-de-açúcar mostram que o Brasil é atualmente o maior produtor com cerca de 739.300 toneladas métricas por ano, seguido por Índia, China, Tailândia, Paquistão, México, Colômbia, Indonésia, Filipinas e Estados Unidos (khoo *et al.* 2018).

Isso indica que o processamento dessa alta quantidade de cana-de-açúcar contribuiria involuntariamente para a produção de uma grande quantidade de resíduos. O bagaço da magnitude da cana-de-açúcar é enorme o que invariavelmente representa uma séria preocupação ambiental se não for utilizado, daí a necessidade deste estudo.

A proposta desse estudo é desenvolver uma análise investigativa sobre o etanol a partir da Fermentação Alcolólica da Sacarose e a produção de energia a partir do reaproveitamento do bagaço. Devido à grande quantidade produzida e as suas características físicas e químicas, o bagaço encontra um vasto campo de utilização, dentre eles: produção e geração de energia térmica e elétrica.

2. Objetivos

2.1 Objetivo geral

Proporciona uma oportunidade para discutir conversões de energia, explicitando os tipos de energia envolvidos no processo, a necessidade de alimentação do sistema e a eficiência no aproveitamento da energia, promovendo assim uma conscientização para o uso racional de energia, proporcionando uma discussão sobre vários tipos de conversão de energia em um sistema comum no dia a dia do estudante.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar as vantagens da produção de etanol a partir da cana-de-açúcar.
- Identificar os impactos econômicos, sociais e ambientais associados à produção de eletricidade a partir do bagaço de cana;
- Apresentar e demonstrar perspectivas para o futuro em relação ao etanol.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O bagaço da cana-de-açúcar é uma matéria-prima potencial para inúmeras aplicações devido à sua composição química tipicamente rico em celulose (44%) e hemicelulose (28%), lignina (21%), cinzas (5%) e extrativo (2%) (KARP *et al.*, 2013). A celulose, hemicelulose, lignina e pequenas quantidades de extrativos e sais minerais do bagaço estão ligados entre si, física e quimicamente com ligações entre lignina e polissacarídeos da parede celular.

Isso evita a quebra fácil do composto complexo em açúcares simples (SUN *et al.*, 2013). Isso afeta a taxa de reação de deslignificação e a qualidade dos produtos. Daí a necessidade de métodos de pré-tratamento que sejam rápidos, não destrutivos e simples para isolar a lignina das paredes celulares do material.

De acordo com Moraes *et al.* (2015), os métodos de pré-tratamento fracionariam o bagaço em seus principais componentes com alta qualidade necessária para permitir que essa matéria-prima renovável seja transformada em produtos de valor agregado.

O objetivo é romper o complexo celulose-hemicelulose-lignina, uma importante fase tecnológica no biorrefinamento de materiais lignocelulósicos (MORAES *et al.*, 2015). O pré-tratamento é, portanto, essencial para transformá-lo em açúcares fermentescíveis de alta qualidade. Uma vez que a cristalinidade da celulose, grau de polimerização, teor de umidade, área superficial e teor de lignina são barreiras à hidrólise, que podem ser superadas por pré-tratamento (KARP *et al.*, 2015).

Além disso, o produto pode ser utilizado para a produção de tijolos (FARIA *et al.*, 2012), cerâmica (SOUZA *et al.*, 2011), aditivo de cimento (ANDREÃO *et al.*, 2019), concreto (PAYÁ *et al.*, 2012), reforços em compósitos poliméricos (KHOO *et al.*, 2018), biogás (NOSRATPOUR *et al.*, 2018), bioetanol (ANTUNES *et al.*, 2018), bio-hidrogênio (MANISH; BANERJEE 2008), biocombustível de aviação (DIEDERICHS *et al.*, 2016) e adsorventes (FIDELES *et al.*, 2018). De acordo com Moraes (2015), ele também é usado como matéria-prima em pirólise, gaseificação, combustão, processos bioquímicos e químicos para a produção de outros produtos valiosos.

3.1- Produção de biocombustíveis e bioprodutos usando bagaço da cana-de-açúcar como matéria-prima

De acordo com Sanjuan et al. (2017), para que o bagaço da cana-de-açúcar seja adequado para a produção de biocombustíveis e produtos bioquímicos, ele deve ser hidrolisado após o pré-tratamento, caso contrário, sua conversão por bioprocessos como a fermentação não seria viável.

Isso se deve aos açúcares poliméricos do bagaço da cana-de-açúcar que devem ser decompostos em unidades mais simples para que a atividade microbiana possa ocorrer. O termo 'hidrólise' significa simplesmente quebrar substâncias complexas com o auxílio de água na presença de um catalisador e neste caso do bagaço da cana-de-açúcar, o catalisador pode ser uma enzima ou uma substância química inorgânica (AJALA et al., 2020).

Segundo Dekker e Wallis (2013), a hidrólise catalisada por enzimas é um processo bioquímico de quebra de um açúcar complexo em açúcares simples por ação enzimática antes da fermentação. Isso é necessário para tornar a glicose no açúcar complexo suscetível a microrganismos.

O autor explica que a enzima que quebra a celulose é conhecida como celulase, que na maioria dos casos são celulases comerciais, como *Spezym*, *Novozym* e *viscozyme*. No entanto, enzimas de cultura também podem ser empregadas. O objetivo da hidrólise enzimática (e hidrólise em geral) é quebrar celulose e hemicelulose em açúcares hexose e pentose que servem como matéria-prima apropriada para o processo de fermentação (PRAMANIK et al., 2021).

A etapa de sonicação pode melhorar o procedimento de hidrólise enzimática (CAMPOS et al., 2013), a hidrólise enzimática do bagaço da cana-de-açúcar em uma faixa de temperatura de 40–50 °C, meio ácido (4,8–6,0), velocidade de agitação moderada e 72 h de hidrólise rendeu uma excelente concentração de glicose e outros hidrolisados.

A hidrólise ácida é outro método de obtenção de xarope de glicose do bagaço da cana-de-açúcar que envolve o uso de uma solução diluída de um ácido inorgânico para quebrar o açúcar complexo da biomassa em açúcares simples (GÁMEZ et al., 2016).

Os ácidos inorgânicos como ácido sulfúrico, ácido nítrico e ácido fosfórico têm sido utilizados para hidrólise ácida do bagaço da cana-de-açúcar. Canilha et

al. (2010) utilizaram uma solução de H_2SO_4 2% p/v na hidrólise do bagaço da cana-de-açúcar. O processo foi feito com a solução ácida e o produto em um recipiente selado aquecido a 150°C por 30 min.

Roberto et al. (2017) também realizou um processo de hidrólise ácida em combinação com um pré-tratamento de explosão de vapor impregnando uma solução de H_2SO_4 35 mM em bagaço da cana-de-açúcar por 16 h antes da explosão de vapor subsequente a 190°C por 5 min. De Moraes Rocha et al. (2018) estudaram a hidrólise ácida diluída do bagaço da cana-de-açúcar por uma solução combinada de ácido sulfúrico e acético e obtiveram uma conversão ótima de 90% do hidrolisado hemicelulósico a 1%, p/v H_2SO_4 + 1%, p/v CH_3COOH (solução). Velmurugan e Muthukumar (2018) avaliaram o pré-tratamento de hidrólise ácida, mas com uma nova técnica assistida por sono. A energia ultrassônica foi pulsada no sistema usando um sistema de controle de ciclo e revelou que as condições ótimas para o processo são 2% p/v H_2SO_4 , 45 min e razão líquido-sólido de 20:1.

Assim a conversão bem-sucedida do bagaço da cana-de-açúcar em açúcares redutores é relevante para a utilização de biomassa em biocombustíveis e produtos bioquímicos, e a hidrólise ácida foi relatada como preferida à enzimática, pois é um processo mais rápido e altamente eficiente (AJALA et al., 2020).

Observou-se que alguns processos que utilizam hidrólise ácida não realizaram nenhum outro pré-tratamento de primeira etapa. Isso ocorre porque o processo ácido é capaz de converter o bagaço em açúcares redutores em uma síntese de um pote por pré-tratamento eficaz enquanto realiza a função de hidrólise.

3.2- Biocombustíveis a partir do bagaço da cana-de-açúcar

De acordo com Akhabue (2019), a viabilidade econômica da matéria-prima de segunda geração (espiga de milho, casca de mandioca e bagaço de cana-de-açúcar) para produção de biocombustíveis depende de sua disponibilidade e técnicas de processo, para obtenção de diferentes tipos de biocombustível.

3.2.1 Bioetanol

Renovabilidade, custo-benefício e respeito ao meio ambiente são as principais vantagens do biocombustível que o torna uma opção potencial para substituição de combustíveis fósseis (AJALA et al., 2015). O bioetanol é um dos exemplos de biocombustível que pode ser produzido a partir da fermentação de açúcares redutores obtidos do BCA por *Saccharomyces cerevisiae*. Diferentes fontes de *Saccharomyces cerevisiae* (levedura) podem ser utilizadas para a fermentação do hidrolisado de BCA para produzir bioetanol (VELASCO et al., 2021).

Canilha et al. (2018) estudaram a produção de bioetanol a partir do hidrolisado de BCA usando *Pichia stipites* e obtiveram rendimento na faixa de 0,2–0,3 g/g. Cao e Aita (2015) estudaram a produção de bioetanol utilizando *Saccharomyces cerevisiae* e obtiveram um rendimento de 0,2 g/g de BCA a 30 °C, tempo de incubação de 48 h e PH de 4,8.

Dias et al. (2019) realizaram uma simulação e análise de integração térmica de uma destilaria convencional de produção de bioetanol integrada com pré-tratamento organosolv e hidrólise ácida diluída de BCA.

Geddes et al. (2017) relataram que *Escherichia coli* é outro microrganismo que pode ser usado para fermentar BCA para produção de bioetanol a uma temperatura de 37° C e pH de 6,5. Em seu estudo, obteve-se um rendimento máximo de bioetanol de 0,21 g/g do processo que é comparativamente bom quando comparado aos de outros estudos. Segundo Roberto et. al. (2021), *Candida utilis*, *Pichia stipitis*, *Candida tropicalis* e *Pichia tannophilus* são outros microrganismos que podem ser empregados na produção de bioetanol.

3.2.2 Outros biocombustíveis

Alguns outros biocombustíveis que podem ser produzidos a partir do hidrolisado de BCA são o bio-hidrogênio e o bio-butanol. O hidrogênio combustível tem recebido grande atenção como transmissor de energia devido ao seu alto rendimento energético, menor peso e não liberação de gás tóxico ou dióxido de carbono durante o processo de combustão (YUE et al., 2021).

O uso de bio-hidrogênio como biocombustível tem vantagens incomparáveis em relação ao bio-metano, como bom poder calorífico e não liberação de gases de efeito estufa após a combustão (AN et al., 2020).

Descobertas recentes revelaram que o biobutanol é um combustível melhor do que o etanol por causa de suas características superiores, portanto, pode ser um substituto potencial para a gasolina ou um combustível aditivo melhor (PRASAD 2020). A fusão de biobutanol com diesel e gasolina também pode ajudar a minimizar as emissões de gases de efeito estufa (FONSECA et al., 2021).

A produção de bio-hidrogênio a partir de fontes renováveis via fermentação anaeróbica tem sido considerada uma forma tecnicamente possível e tem chamado mais atenção (ZACHARIA et al., 2020). Tem sido relatado que a produção de biobutanol a partir de hidrolisados de amido ou matéria-prima lignocelulósica é viável através do processo de fermentação (VEZA et al., 2021).

Fangkum e Reungsang (2017) estudaram a produção de bio-hidrogênio a partir de BCA utilizando um inóculo rico em microrganismos a partir de esterco bovino.

Mariano et al. (2013) investigaram os aspectos técnicos e econômicos da produção de biobutanol a partir de BCA. Observou-se que o processo foi mais intensivo em energia e possui maior volume de vinhaça associada. As alegações dos autores supracitados justificam que o BCA é uma matéria-prima sustentável para a produção de bioetanol.

3.2.3 Bioprodutos

O bioprocessamento de BCA é um método muito popular de produção de inúmeras substâncias bioquímicas para diferentes aplicações. Vários tipos de microrganismos como fungos (KEWALRAMANI ET AL., 2018) e bactérias são utilizados para digerir o substrato BCA com o produto desejado sendo os resíduos metabólicos destes organismos.

Para Chávez et al. (2013) a produção de substâncias bioquímicas a partir de BCA é importante para uma maior rentabilidade e para o alcance final da sustentabilidade econômica. Uma série de bioprodutos produzidos a partir de BCA são assim identificados e discutidos com base nos achados da literatura.

O xilitol é um adoçante utilizado na indústria alimentícia e farmacêutica, e estudos mostraram que com o tipo adequado de enzima, ele pode ser obtido a partir do substrato BCA. Carvalho et al. (2015) produziram xilitol a partir do hidrolisado de BCA utilizando *Candida guilliermondii* imobilizada em alginato de cálcio para obter um rendimento ótimo de 0,81 g/g de biomassa a 30 °C, 144 h, 300 rpm e pH de 6.

Gurgel et al. (2015) também produziram xilitol a partir de BCA hidrolisado com ácido usando *Candida guilliermondii*. O estudo foi focado em examinar os melhores meios de clarificar o caldo de fermentação e recuperar o xilitol por tratamento de carvão de ativação, tratamento de troca iônica e cristalização.

Martín et al. (2017) utilizaram uma cepa adaptada de *Saccharomyces cerevisiae* para a produção de xilitol a partir do hidrolisado de BCA na presença de compostos inibitórios para obter um rendimento máximo de 0,38 g/g de biomassa. Um resumo mais extenso da produção de xilitol sob várias condições de processo e microrganismos.

Recentemente, resíduos agrícolas, principalmente materiais lignocelulósicos (melaço, soro de leite, palha de milho, sabugo de milho, fibras de alfafa e resíduos de madeira) estão sendo utilizados como fontes de carbono para a produção de ácidos orgânicos. Esses resíduos foram avaliados como substratos baratos para a fermentação econômica da produção de ácido orgânico, pois não competiriam com alimentos e rações.

Portanto, explorar outros substratos baratos, renováveis e ecologicamente corretos para a produção de ácidos orgânicos é de grande preocupação e interesse para os pesquisadores. Assim, o uso de fontes de carbono menos dispendiosas como BCA em vez de petróleo ou gás natural para sintetizar ácido orgânico é rentável e vantajoso como mencionado (AJALA et al., 2021).

Estudos também mostraram que com o tipo apropriado de enzima, ácidos orgânicos como os ácidos láctico, succínico, cítrico e ferúlico podem ser obtidos a partir do substrato BCA. Adsul et al. (2017) produziram ácido láctico a partir da fermentação do BCA usando *Lactobacillus delbrueckii*. Eles obtiveram um rendimento de ácido láctico de 0,83 g/g a partir de um processo simultâneo de sacarificação e fermentação (SSF). Borges e Pereira (2017) produziram ácido succínico a partir de BCA hidrolisado com ácido usando *Actinobacillus succinogenes* e otimizaram o processo usando a metodologia de superfície de resposta. Eles

obtiveram um rendimento ótimo de ácido succínico de 0,43 g/g a 37° C, 24 h a um pH de 7.

Kumar et al. (2018) produziram ácido cítrico a partir do substrato BCA usando *Aspergillus niger* em um processo de fermentação em estado sólido. Os níveis ótimos dos parâmetros do fator foram 75% de umidade, 31,8 g de açúcar/100 g de sólido seco, 4% p/v metanol e partículas de tamanho entre 1,2 e 1,6 mm. O rendimento ótimo relatado no trabalho foi de cerca de 20 g/100 g de sólido seco.

Ounas et al. (2019) prepararam ácido ferúlico a partir de BCA por hidrólise alcalina. O processo foi feito com NaOH 0,5 M (com adição de NaHSO₃ para evitar oxidação ferúlica) a 50°C, 150 rpm e 4 h. A mesma equipe de pesquisa (OUNAS et al., 2019), preparou ácido p-coumarico (ácido hidroxicinâmico, composto orgânico que é um derivado hidroxilado do ácido cinâmico (AQUINO, 2019) a partir de BCA também por hidrólise alcalina usando a mesma metodologia). Um resumo da produção de ácidos orgânicos a partir do BCA.

Os xilooligossacarídeos podem ser produzidos a partir do xilano (derivado da hidrólise do BCA) por algumas enzimas (JAYAPAL et al., 2013). Deve-se notar que este processo não é um processo de fermentação, mas um processo de hidrólise. Bian et al. (2013) examinaram as características estruturais de xilooligossacarídeos derivados da ação de *Pichia stipites* sobre xilana derivada de BCA e obtiveram a conversão máxima de 31,8% em 12 h.

O hidrolisado consistiu principalmente de xilobiose, xilotriose, xilotetraose, xilopentose e xilohexose. Brienzo et al. (2015) produziram xilooligossacarídeos de BCA usando *chloroflexus auranticus*. A conversão máxima de 37,1% foi obtida nas condições ideais. Além do processo de hidrólise enzimática relatado acima, um processo de auto hidrólise também foi utilizado na produção de xilooligossacarídeos (ZHANG et al., 2021).

O BCA tem sido utilizado em inúmeros estudos como substrato para a produção de enzimas, Camassola e Dillon (2017) produziram celulase e hemicelulase usando um processo de fermentação em estado sólido e a enzima *Penicillium echinulatum*.

Cordova et al. (2018) produziram lipase usando um processo de fermentação em estado sólido na presença de enzimas *Rhizomucor pusillus* e *Rhizopus rizopodiformis* como catalisadores. Cunha et al. (2017)

produziram celulase a partir de BCA usando *Aspergillus niger* em um processo de cultivo sequencial em estado sólido e submerso.

Gottschalk et al. (2010) estudaram a atividade sinérgica de *Trichoderma reesei* e *Aspergillus awamori* na produção de celulase, xilanase, β -glicosidase e ácido ferúlico esterase. Embora o BCA possua hemicelulose adicional em contraste com o lodo de papel, isso pode ser mais facilmente alcançado do que a hidrólise enzimática. Isso se deve à sua menor proporção de lignina, o que poderia elucidar mais açúcares despejados no lodo de papel (ALMEIDA et al., 2021).

Gutierrez e Tengerdy (2017) produziram celulase e β -glicosidase usando *Trichoderma reesei* e *Aspergillus phoenicis*, respectivamente, em um processo de fermentação de substrato sólido de cultura mista e única. Lamounier et al. (2018) usaram *Aspergillus fumigatus* na sacarificação do extrato de BCA para produzir xilanase e β -glicosidase.

Manavalan et al. (2012) usaram *Ganoderma lucidum* em BCA para a produção de proteases e celulase. Mazutti et al. (2016) produziram *Inulinase* a partir da fermentação em estado sólido de BCA usando *Kluyveromyces marxianus*. Mohammadi.

O poli-3-hidroxi-butanato pode ser obtido pela ação de *Burkholderia cepacia* e *Burkholderia sacchari* sobre BCA (DA SILVA, 2015). Rendimentos de polímero de 0,39 g/g e 0,29 g/g foram obtidos de *B. cepacia* e *B. sacchari*, respectivamente. O BCA foi convertido por abordagens alcalinas e enzimáticas para obter xilano de 53% (p/p) e 22% (p/p), respectivamente (SPORCK et al., 2017).

Embora a alcalina tenha dado maior rendimento de xilana, a enzimática produziu a xilana com a menor contaminação dos componentes lignina e glucana. Tsigie et al. (2017) utilizaram substrato BCA para cultivar *Yarrowia lipolytica* para a produção de lipídios e obteve um rendimento lipídico máximo de 6,68 g/L quando a peptona serviu como fonte de nitrogênio.

Cerqueira et al. (2017) produziram e otimizaram o acetato de celulose a partir da celulose BCA que pode ser usado em revestimentos, membranas e filtros de charutos. Em um processo semelhante, Shaikh et al. (2019) consideraram o novo uso de hemicelulose residual como plastificante no processo de produção de acetato de celulose com resultados positivos obtidos.

Chareonlimkun et al. (2015) estudaram a produção de furfural e 5-hidroximetilfurfural por meio de um processo de água comprimida quente catalisado por óxidos de metais de transição. A hemicelulose de BCA tem sido usada como precursor para a produção de monômeros e oligômeros de xilose (JACOBSEN; WYMAN 2018).

O BCA também foi usado para a produção de nanocelulose por meio de um processo de homogeneização de alta pressão (JISHUA et al., 2018). A carboxil metil hemicelulose (CMH) foi preparada a partir da hemicelulose BCA por um processo conhecido como carboximetilação usando monocloroacetato de sódio e hidróxido de sódio em meio etanol/água (REN et al., 2018).

Da Silva (2015) despolimerizou a lignina organosolv industrial e tradicionalmente extraiu a lignina do BCA na presença de um catalisador ácido de antraquinona. O estudo foi capaz de mostrar a substituição do formaldeído pelo glutaraldeído (um dialdeído que pode ser obtido de fontes naturais) pela reação da lignina com o glutaraldeído e estudado como resinas do tipo fenólico para termofixos.

Processamento termoquímico

Uma variedade de tecnologias tem sido empregada para converter biomassa em formas valiosas de energia (UMENWEKE et al., 2021). O tipo de tecnologia de conversão é influenciado por alguns fatores, como o tipo e a quantidade de biomassa, e a forma de energia necessária (PRASAD, 2020).

O BCA pode ser processado termoquimicamente para dar produtos de valor agregado que invariavelmente ajudariam na obtenção de sustentabilidade energética, ambiental e econômica. Os processos termoquímicos envolvem temperaturas muito altas (> 200 °C) e outras condições de processo que incluem combustão, pirólise e gaseificação (ADELODUN, 2020).

A combustão é a ignição da biomassa em chamas, geralmente feita para utilizar seu poder calorífico para aquecimento interno, cozimento ou geração de energia. A pirólise é o aquecimento da biomassa em um ambiente desoxigenado para dar bio-óleo, biocarvão e biogás (IGHALO; ADENIYI 2020).

O processo de gaseificação é de dois tipos que são a gaseificação do ar e a gaseificação a vapor (comumente conhecida como reforma a vapor); cada um dos

processos produz principalmente gases (IGWEGBE et al., 2021). As diferenças entre ambos são que o primeiro envolve um fluxo constante de entrada de ar e o último, um fluxo de vapor (ADENIYI et al., 2019). O primeiro produz gás de produção, enquanto o último produz gás de síntese.

3.3- Análise Tecnoeconômica

Vários estudos foram realizados ao longo dos anos para determinar a viabilidade técnico-econômica e rentabilidade financeira do BCA para diversas aplicações. Esta seção avaliou sua descoberta para justificar que o BCA é uma matéria-prima economicamente sustentável.

A flexibilidade tem sido apontada como um índice crucial para sustentar a produtividade neste setor empresarial. Como a demanda global por açúcar provavelmente não excederá a demanda por etanol, isso deve ser levado em consideração no projeto das usinas.

Dias et al. (2019) realizaram uma avaliação econômica da produção de etanol de cana-de-açúcar de uma destilaria autônoma. Observou-se que a utilização do resíduo produzido (BCA) como combustível no sistema de cogeração de energia aumentaria significativamente a rentabilidade do processo. E a venda do excesso de energia gerado também é outra opção.

Dantas et al. (2018) avaliaram o custo e a viabilidade das diferentes rotas técnicas para a geração de eletricidade BCA. A principal constatação do estudo é que a geração de eletricidade por combustão de biomassa ainda é a única opção economicamente viável no momento. A posição atual ainda se mantém, embora tenham sido feitas previsões até o ano de 2030 para uma melhoria na geração elétrica do BCA. As outras tecnologias ainda são consideradas em sua infância e crescimento em estágio inicial (exceto para o processo do ciclo Rankine).

Gubicza et al. (2016) realizaram um estudo técnico-econômico da produção de bioetanol da BCA. O mecanismo envolvido foi um mecanismo de liquefação com *Escherichia coli* concomitantemente sacarificando e co-fermentando. Os principais contribuintes de custo foram descritos como o preço da matéria-prima (contribuindo com 25% do custo anual de produção) e o custo anual de capital (contribuindo com 45% do custo total de produção).

É bem entendido que o rendimento do etanol pode afetar o custo de produção, e foi demonstrado neste estudo que é financeiramente apropriado aumentar a concentração de enzimas (aumentando o custo da enzima) para aumentar o rendimento do etanol.

Em um interessante estudo, Leibbrandt (2019) comparou a viabilidade técnico-econômica do processamento bioquímico com o processamento termoquímico do BCA. Observou-se que o tratamento biológico com água quente líquida e o pré-tratamento com hidrólise ácida não foram autossuficientes em energia, mas o pré-tratamento com explosão de vapor foi autossuficiente em energia. Tanto a pirólise rápida quanto a vácuo e o processamento Fischer-Tropsch eram autossuficientes em energia.

Observou-se que o processamento Fischer-Tropsch tem o maior custo total de investimento seguido pelo pré-tratamento por explosão a vapor, depois pirólise rápida e finalmente pirólise a vácuo, para produção de bioetanol. A ordem ainda vale para o custo de produção de combustível líquido, enquanto a ordem inversa vale para a taxa interna de retorno.

Macrelli et al. (2018) estudaram a economia da produção de bioetanol de 2ª geração a partir de BCA e folhas, integrada aos processos de produção de etanol à base de açúcar. Observou-se que o preço médio de venda do etanol (para processos de primeira e segunda geração) de 0,53 US\$/L é economicamente viável para todos os tipos de processos.

Mesa et al. (2020) avaliaram a produção de bioetanol com base em duas estratégias de pré-tratamento de BCA; hidrólise organosolv e enzimática. Com base em sua consideração econômica, a melhor alternativa proposta é 15 min usando uma solução de polpação ácida sem etanol na proporção sólido-líquido de 1g / 5 mL; e a segunda etapa de 60 min utilizando 45% (v/v) de etanol e 3% de NaOH em fibra seca. O estudo apresentou uma tecnologia que pode ser aplicada em escala industrial devido ao elevado rendimento de etanol e aos baixos custos operacionais envolvidos.

Seabra et al. (2019) consideraram a economia do processamento bioquímico e termoquímico de resíduos de cana-de-açúcar como um processo secundário ao processo principal de refino de açúcar. Eles revelaram que a conversão bioquímica dos resíduos pode levar a um adicional de 0,033 m³ de etanol por tonelada de cana e a conversão termoquímica levará a cerca de 0,025 m³ por tonelada. Também foi

revelado que a eletricidade será um coproduto importante para a biorrefinaria, especialmente para o processo de conversão bioquímica.

Merwe (2018) comparou as eficiências energéticas e econômicas de diferentes projetos de processos para a produção de biobutanol a partir do melaço de cana-de-açúcar. O processo de fermentação com *C. beijerinckii* em um sistema fed-batch com destilação de gás in situ, seguida de extração líquido-líquido (LLE) e destilação por destilação a vapor foi o único processo lucrativo com base na realidade econômica prevalecente. Embora o processo fosse eficiente em termos energéticos, foi proposto que o uso de melaço resultaria em grandes flutuações no preço de venda do produto, o que pode prejudicar a viabilidade desse processo de produção.

Também foi demonstrado que a produção de biobutanol a partir de BCA através do refino de primeira geração ainda é tão lucrativa quanto o processo de bioetanol (MARIANO et al., 2018), os autores também foram capazes de mostrar que a produção de biobutanol é um processo mais lucrativo em geral do que a produção de biogás.

Em seu olhar superficial sobre a produção de bioetanol da BCA, Ensinas et al. (2018) opinaram que o grande problema dos processos de produção de bioetanol de segunda geração é o alto custo das enzimas. Jorapur e Rajvanshi (2017) revelou que a geração de energia via gaseificação de BCA é um empreendimento lucrativo.

Também foi proposto que a economia se torna mais favorável com sistemas de gaseificação maiores devido à economia de escala. Com base nesta avaliação técnico-econômica do BCA, pode-se concluir que é uma matéria-prima viável para a sustentabilidade econômica. Isso porque pode ser usado para produzir vários produtos com margem de lucro ideal com retorno adequado do investimento.

4. METODOLOGIA

A metodologia aqui utilizada com base em uma proposta investigativa na análise da obtenção do biocombustível base da cana-de-açúcar e a geração de energia com o bagaço da cana-de-açúcar. Esta investigação vai ser desenvolvida no Colégio Municipal Aduino Carício - Belém de Maria - PE, no 9º Ano do Ensino Fundamental II.

A pesquisa apresentada neste trabalho foi desenvolvida utilizando os procedimentos de estudo bibliográficos, com coleta de dados pela técnica bibliométrica, tradicionalmente utilizada em algumas áreas para avaliar pesquisas científicas sobre determinado tema. Em relação aos resultados obtidos a pesquisa também pode ser classificada como quali-quantitativa e, quanto aos objetivos, como pesquisa descritiva, tem a função de descrever as características observadas nos artigos selecionados.

Os artigos utilizados para esta pesquisa bibliográfica foram selecionados a partir de três bases de dados, a saber: Science Direct, Scopus e Web of Science. O termo de busca utilizado nas três bases citadas foram: Biomassa, transformação de Energia, desenvolvimento sustentável, Energia a partir do bagaço da cana-de-açúcar.

É importante destacar que as buscas foram feitas considerando artigos publicados a partir de 2015 até 2021. Será também realizada uma atividade prática, com materiais caseiros mostrando os processos de obtenção do etanol a partir do caldo de cana utilizando a queima do bagaço da cana-de-açúcar como fonte de energia para produção de calor.

4.1 Local da Pesquisa

A metodologia utilizada no experimento prático veio com base em uma proposta investigativa na análise da obtenção do biocombustível base da cana-de-açúcar e a geração de energia com o bagaço da cana-de-açúcar. Esta investigação vai ser

desenvolvida no Municipal Adauto Caricio, em Belém de Maria – PE, no 9º Ano do Ensino Fundamental II.

4.2 Sequencia didática

No primeiro momento foi feito um debate sobre os processos para obtenção do etanol a partir da cana-de-açúcar, com o objetivo principal de desenvolver nos estudantes o estímulo para levantar questões que precisem ser respondidas, tais como: Como a reutilização do bagaço da cana-de-açúcar estão atreladas as questões de sustentabilidade? e quais são impactos ao meio ambiente causados pelo processo produtivo?

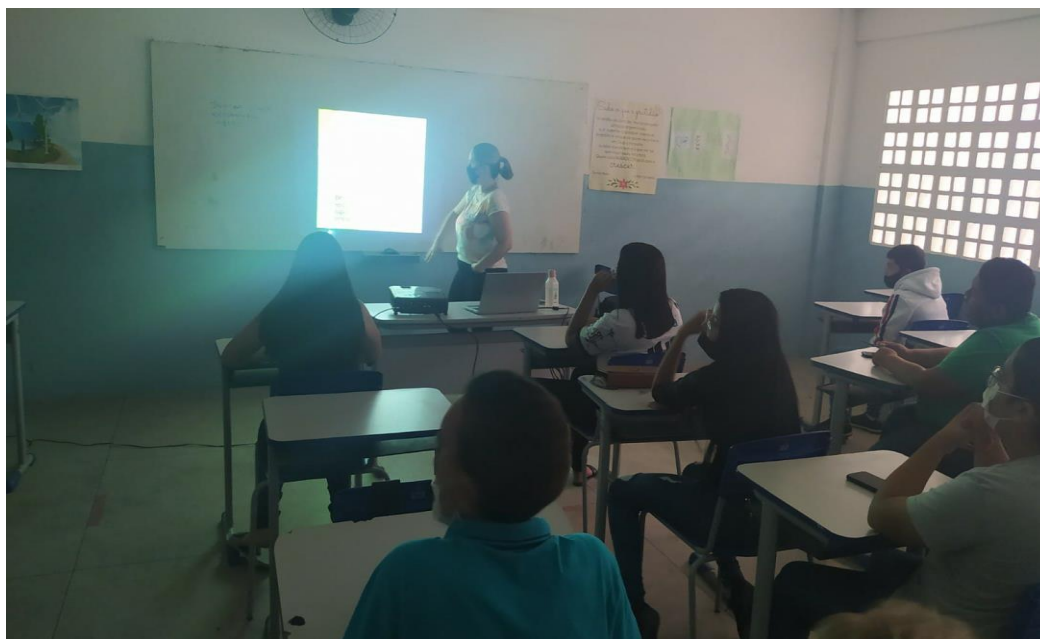
Figura 1. debate sobre os processos para obtenção do etanol a partir da cana-de-açúcar



Fonte: A autora

Em seguida foram apresentados em forma de vídeos e imagens, os processos de obtenção e produção do álcool a partir da cana-de-açúcar e o reaproveitamento de energia utilizando o bagaço de cana-de-açúcar, momento em que foram feitas às explanações de todos os processos e formas alternativas no desenvolvimento sustentável.

Figura 2. Apresentação dos processos de obtenção de etanol e reaproveitamento de energia utilizando o bagaço de cana-de-açúcar.



Fonte: a autora

3.4- MATERIAL E MÉTODO

A atividade investigada de construção de um alambique artesanal, no qual além do caldo da cana-de-açúcar como material para produzir a cachaça, foi citado que o bagaço da cana poderia ser utilizado como fonte produtora de energia para o aquecimento da calda. Assim foram utilizados materiais caseiros como panela de pressão, botijão de água mineral, fogareiro que serviu para a queima do bagaço, mangueira fina e outros materiais facilmente encontrados nas residências. Na figura 3 e 4 destacamos a participação dos alunos no processo de montagem do alambique caseiro.

Figura 3. Construção de um lambique artesanal



Fonte: a autora

Assim foi desenvolvido o processo de obtenção do etanol a partir do caldo de cana. Neste momento os alunos participaram com muito entusiasmo da experiência e fizeram algumas considerações sobre o assunto.

Figura 4. Encaixe do garrafão para armazenamento da cachaça



Fonte: a autora

Figura 5. Alambique artesanal



Fonte: A autora

Figura 6. Processo de produção da cachaça



Fonte: A autora

Figura 7. Alunos observando o processo de produção da cachaça



Por fim foi disponibilizado uma atividade de pesquisa onde o principal objetivo foi proporcionar um momento de ensino e aprendizagem, assim os estudantes depois de exporem suas ideias iniciais (conhecimentos prévios) conseguirão construir explicações e tirar suas próprias conclusões e com isso, serão os protagonistas da sua própria história.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No experimento em questão o processo integrado de produção de etanol a partir da cana-de-açúcar usando como fonte de energia a queima do bagaço, leva a melhores resultados econômicos, já que aproveita tanto a parte sólida como líquida do produto, além de diminuição da quantidade de resíduos no solo. Foi observado que o bagaço teve grande poder calorífico próprio do bagaço, no caso da produção de bioetanol.

Os alunos participantes do experimento foram muito proativos gostaram de vivenciar na prática o aproveitamento de resíduos sólidos na transformação de energia, pois perceberam que é possível se utilizar de materiais que antes seriam descartados para soluções que visam o desenvolvimento sustentável.

Estudante 1

“A aula ministrada foi muito proveitosa uma vez que a atividade prática sobre a obtenção do etanol utilizando a cana-de-açúcar contribuiu bastante para a aprendizagem em Ciências, especialmente porque foi trabalhando de uma forma investigativa e problematizadora”.

Estudante 2

“A experimentação serviu para comprovar a teoria, revelando a visão tradicional de ciências; sendo que através da atividade experimental com materiais caseiros e fáceis de serem obtidos facilitou a compreensão dos conteúdos ajudando a despertar a curiosidade e o interesse pelo estudo”.

Estudante 3

‘A professora proporcionou uma maior relação teoria e prática, nos ajudando a exercitamos a nossa capacidade de dialogar, de se expressar, de pensar, de argumentar e escrever, expondo e mudando nossos pontos de vista, colocando em ação o processo de formação. Depois a experimentação também nos permitiu manipular objetos e ideias, sendo conduzidas de forma agradável para que não se tornasse uma competição entre os grupos e, sim, uma troca de ideias e conceitos à medida que ia sendo discutidos os resultados, assim foi possível construirmos nossos conceitos e definições”.

De acordo com Martinez et. al (2020), o bagaço é o resíduo sólido resultante da extração do caldo dos colmos da cana-de-açúcar e contém o material lignocelulósico fibroso dos colmos. A incineração de bagaço da cana-de-açúcar é

uma tecnologia muito comum e madura para disposição de resíduos e geração de energia elétrica e térmica.

No entanto, esta abordagem pode não ser satisfatória na gestão de resíduos orgânicos devido às emissões de poluentes, custos econômicos e trabalhistas, perda de energia e mau odor. Além disso, nenhum produto valioso é gerado a partir de seu processo de decomposição. Em vez de incineração, pesquisas recentes têm focado em sua utilização como fonte de biocombustível.

Segundo Madaleno (2017), o uso do bagaço para geração de energia resulta em menores potenciais de aquecimento global, acidificação e eutrofização, enquanto a produção de bioetanol proporciona conservação de recursos (por substituição de combustível fóssil). Portanto o bagaço de cana-de-açúcar como resíduo para produção de energia apresenta um potencial para uma sociedade mais sustentável.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As várias aplicações do bagaço da cana-de-açúcar foram extensivamente examinadas à luz da necessidade de sustentabilidade energética e ambiental. O material pode ser considerado uma matéria-prima sustentável para a produção de biocombustíveis, pois foi usado com sucesso para produzir bioetanol, biometano, biohidrogênio e biobutanol. Bioprodutos como xilitol, ácidos orgânicos, xilooligosacarídeos e enzimas que foram produzidos a partir dele justificam sua importância econômica.

O descarte do bagaço da cana-de-açúcar é um problema que vem ganhando destaque no mundo, visto que pode causar, além de outros problemas, a contaminação de solos e águas. Assim, estudiosos estão tentando encontrar uma forma eficiente e legal de dispor desse subproduto.

Diversas aplicações podem ser consideradas para o descarte correto desse subproduto, algumas com maior incidência de estudos e outras apenas com avaliações prévias. Além disso, o bagaço da cana-de-açúcar pode ser eficientemente utilizado para estabilizar solos com propriedades expansivas ou para corrigir alguns compostos do solo, como adubação neste caso.

Os resultados deste trabalho mostram que é possível aplicar o bagaço da cana-de-açúcar em diversas áreas. Por outro lado, não existe um modelo padrão a ser seguido. Para cada aplicação, deve ser feito um estudo relacionado às propriedades e necessidades em cada área ambiental.

A diversidade de aplicações do bagaço da cana-de-açúcar foi ainda mais surpreendente, pois o material também encontrou aplicações como adsorvente, resina de troca iônica, briquetes, cerâmica, concreto, cimento e compósitos poliméricos. Assim pode-se supor que o BCA é uma biomassa com grande potencial para complementar a demanda global de energia e promover a sustentabilidade ambiental e econômica.

7. REFERÊNCIAS

ADELODUN, Ana. Conversão termoquímica de resíduos híbridos de fibra de dendê-LDPE em biocarvão. **PDF. uma revisão. Ambiente Res.** 2020.

ADENIYI AG, IGHALO JO. Biossorção de poluentes por folhas de plantas: uma revisão empírica. **J Environ Chem Eng.** 2020.

ADSUL MG, Varma AJ, Gokhale DV. Produção de ácido lático a partir de celulose derivada do bagaço de cana-de-açúcar. **Química Verde.** 2017.

AJALA Eloa, Ferrer A, Ledesma. Biodiesel: substituição de energia sustentável para diesel à base de petróleo – **uma revisão. Chem Bio Eng Rev.** 2015.

AKHABUE, Celestino. Efeito do pré-tratamento com ácido diluído nos complexos funcionais e na morfologia da superfície da serragem de madeira para produção de bioetanol. **International Journal of Hydrogen Energy.** Nigéria. 2019.

ALCARDE, André Ricardo. Árvore do Conhecimento: Cana-de-açúcar. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar>, acesso em: 20 de jan. de 2022.

AN, Quin., BU, J., CHENG, JR, Hu, BB, WANG, YT e ZHU, MJ. Sacarificação biológica por *Clostridium thermocellum* e produção de hidrogênio e metano em dois estágios a partir do bagaço de cana pré-tratado com peróxido de hidrogênio-ácido acético. **International Journal of Hydrogen Energy.** acesso em: 20 de dezembro de 2021.

ANDREÃO PV. Brienzo M, Carvalho W, Milagres AM. Uso sustentável da cinza do bagaço da cana-de-açúcar em materiais à base de cimento. **Revista Verde Mate.** Ed. 14. 2019.

ANTUNES, Felipe. Brienzo M, Carvalho. Uma nova estratégia de intensificação de processo para produção de etanol de segunda geração a partir de bagaço de cana-de-açúcar em reator de leito fluidizado. **Revista Renovar Energia.** Ed. 22. 2018.

AQUINO, Fernanda Lima Torres de. Efeito dos ácidos trans-cinâmico, p-cumárico e cinamato de metila, sobre a migração de fibroblastos in vitro. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde) – **Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Programa de Pós Graduação em Ciências da Saúde.** Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.

BORGES, Élcio Ribeiro; PEREIRA JR, Nei. Produção de ácido succínico a partir do hidrolisado de hemicelulose do bagaço de cana-de-açúcar por *Actinobacillus succinogenes*. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, v. 38, n. 8, p. 1001-1011, 2011.

CAMPOS, A., CORREA, AC, CANNELLA, D., de M TEIXEIRA, E., MARCONCINI, JM, DUFRESNE, A., Sanadi, AR. Obtenção de nanofibras a partir de fibras de

curauá e bagaço de cana-de-açúcar utilizando hidrólise enzimática seguida de sonicação. **Revista Verde Mate** .ed. .20 . 2013.

CANILHA, L., CARVALHO, W., de ALMEIDA Felipe, MDG, e Silva, JBDA, Viglietti, M. Produção de etanol a partir do hidrolisado de bagaço de cana-de-açúcar utilizando *Pichia stipitis*. **Applied Biochemistry and Biotechnology**. 2010.

CERQUEIRA, EF; BAPTISTA, CARPA; MULINARI, DR Comportamento mecânico de compósitos de fibras de bagaço de cana reforçados com polipropileno. **Procedia Engineering**. Ed. 10, p. 2046-2051, 2011.

CHAREONLIMKUN, A., CHAMPREDA, V., Shotipruk, A., LAOSIRIPOJANA, N. Conversão catalítica de bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz e sabugo de milho na presença de TiO₂, ZrO₂ e óxido misto TiO₂-ZrO₂ sob condição de água quente comprimida (HCW). **Bioresource technology**, 101 (11), 2010.

CHÁVEZ, Gómez, B., Quintero, R., Esparza-Garcia, F., Mesta-Howard, AM, de la Serna, FZD, Hernández-Rodríguez, CH, ... & Rodríguez-Vázquez, R. Remoção de fenantreno do solo por co-culturas de bactérias e fungos pré-cultivados na medula do bagaço de cana-de-açúcar. **Bioresource Technology**, 89 (2), 2013.

CORDOVA, J., NEMMAOUI, M., ISMAÍLI, Alaoui, M., MORIN, A., ROUSSOS, S., RAIMBAULT, M., BENJILALI, B. Produção de lipase por fermentação em estado sólido de torta de azeitona e bagaço de cana-de-açúcar. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**. 2018.

DANTAS, Guilherme A.; LEGEY, Luiz FL; MAZZONE, Antonela. Energia do bagaço de cana-de-açúcar no Brasil: uma avaliação da produtividade e custo de diferentes rotas tecnológicas. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 21, p. 356-364, 2013.

DEKKER, RFH; WALLIS, AFA Sacarificação enzimática de bagaço de cana-de-açúcar pré-tratado por auto-hidrólise-explosão de vapor. **Biociencia e bioengenharia**, v. 25, n. 12, pág. 3027-3048, 1983.

DIEDERICHS, Gabriel Wilhelm. MOHSEN, Ali Mandegari. SOMAYEH Farzad Johann. Comparação tecnoeconômica da produção de biocombustível de aviação a partir de lignocelulose, óleo vegetal e caldo de cana. **Revista de Tecnologia Biorecurso**. 2016.

ENSINAS. Viana, A., Codina Gironès, V., Queiroz Albarelli, J., Maréchal, F., Silva, MA. Otimização termoeconômica de usina integrada de etanol de cana-de-açúcar de primeira e segunda geração. **Chemical Engineering Transactions**, 35 ARTIGO. (2013).

FARIA, Karla. GURGEL, Renato Figueiredo. HOLANDA, Felipe de. Reciclagem de resíduos de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar na produção de tijolos de barro. **Universidade Estadual do Norte Fluminense, Laboratório de Materiais Avançados, Grupo de Materiais Cerâmicos**. 2012.

FIDELES, Renata Aparecida. DIAS, Gabriel Max. FERREIRA, Filipe Simões Teodoro a. HERRERA, Oscar Fernando. ADARMECOM Luis Henrique. MENDES, Silva. LAURENT Frédéric. GILCOM, Leandro Vinícius. ALVES. Gurgel. Bagaço de cana tremelicado: um adsorvente versátil para remoção de corantes catiônicos de solução aquosa. Parte I: adsorção em lote em um sistema monocomponente. **J Colloid Interface Sci.** 2018.

FONSECA, Bruna Constante, REGINATTO, V., LÓPEZ, Linares, JC, Lucas, S., GARCÍA, M. As condições ideais de pré-tratamento ácido assistido por micro-ondas da palha de cana-de-açúcar permitem a produção de ácido butírico fermentativo sem etapa de desintoxicação. **Tecnologia de Biorecursos.** 2021.

GÁMEZ, Sara., GONZÁLEZ, Juliano, VÁZQUEZ Marcos. Estudo da hidrólise do bagaço de cana-de-açúcar utilizando ácido fosfórico. **Jornal de engenharia de alimentos.** 2016.

GEDDES, Claudia, MULLINNIX, MT, NEVES, IU, Peterson, JJ, Hoffman, RW, York, SW, ... & Ingram, LO. Processo simplificado para produção de etanol a partir do bagaço de cana-de-açúcar utilizando *Escherichia coli* cepa MM160 resistente a hidrolisados. **Bioresource technology**, 102 (3), 2017.

GOTTSCHALK, Leda Maria Fortes; OLIVEIRA, Raul Alves; DA SILVA BON, Elba Pinto. Celulases, xilanases, β -glicosidase e ácido ferúlico esterase produzidas por *Trichoderma* e *Aspergillus* atuam sinergicamente na hidrólise do bagaço de cana-de-açúcar. **Revista de Engenharia Bioquímica**, v. 51, n. 1-2, pág. 72-78, 2010.

GUBICZA, Kristina., NIEVES, IU, Sagues, WJ, Barta, Z., Shanmugam, KT, Ingram, LO. Análise tecnoeconômica da produção de etanol a partir do bagaço de cana-de-açúcar por processo de Liquefação mais Sacarificação Simultânea e Cofermentação. **Tecnologia de biorecursos**, 208, 42-48. (2016).

GUTIERREZ, Marcel Correa; TENGARDY, Robert P. **Produção de celulase em bagaço de cana-de-açúcar por fermentação em substrato sólido de cultura mista fúngica.** *Cartas de Biotecnologia*, v. 19, n. 7, pág. 665-667, 2017.

IGWEGBE, Chinenye Adaobi; ADENIYI, Adewale George; IGHALO, Joshua O. Modelagem ANN da reforma a vapor de naftaleno com base em análise termodinâmica não estequiométrica. **Chemical Papers**, v. 75, n. 7, pág. 33. 2021.

JACOBSEN, Sigrid E.; WYMAN, Charles E. Rendimentos de monômeros e oligômeros de xilose para hidrólise não catalisada de hemicelulose do bagaço de cana-de-açúcar em diferentes concentrações de sólidos. *Pesquisa em química industrial e de engenharia*, v. 41, n. 6, pág. 14, 2012.

JAYAPAL, Natacha, Samanta, AK, Kolte, AP, Senani, S., Sridhar, M., Suresh, KP, & Sampath, KT (2013). **Agregação de valor ao bagaço de cana-de-açúcar: extração de xilana e sua otimização de processos para produção de xilooligossacarídeos.** *Culturas e Produtos Industriais.* 2013.

JIHUA, Li. XIAOYI, Weia. QINGHUANG Wang. ABJIACUI, Chena. GANG Changa. LINGXUE Kongc. JUNBO Sud. YUHUAN Liue. Isolamento homogêneo de nanocelulose do bagaço de cana-de-açúcar por homogeneização em alta pressão. **Carboidrato Polym**. 2018.

JORAPUR, Rajeev; RAJVANSHI, Anil K. Gaseificadores de bagaço de cana-de-açúcar para aquecimento industrial. **Biomassa e Bioenergia**, v. 13, n. 3, pág. 141-146. 2017.

KARP Susan Grace. WOICIECHOWSKI Adenise Lorenci. SOCCOL. Thomaz, VANETE Carlos Ricardo. Estratégias de pré-tratamento para deslignificação do bagaço da cana-de-açúcar: **uma revisão. Braz Arch Biol Technol**. (2013).

KEWALRAMANI, N., Kamra, DN, Lall, D., & Pathak, NN. Bioconversão do bagaço de cana-de-açúcar com fungos da podridão branca. **Cartas de biotecnologia**, 10 (5), 2018.

LEIBBRANDT. Nelton Henrique. **Estudo técnico-econômico para bagaço de cana-de-açúcar para biocombustíveis líquidos na África do Sul: uma comparação entre rotas de processos biológicos e termoquímicos**. Stellenbosch, África do Sul: **Tese de Doutorado submetida à Universidade de Stellenbosch**. (2010).

MACRELLI, Stefano; MOGENSEN, Johan; ZACCHI, Guido. Avaliação tecnoeconômica da produção de bioetanol de 2ª geração a partir de bagaço e folhas de cana-de-açúcar integrado ao processo sucroalcooleiro. **Biotechnology para biocombustíveis**, v. 5, n. 1, pág. 1-18, 2012.

MADALENO, Leonardo. ANNA, Carolina. MURILO, SUGAHARA, Figueiredo de Paula, Nádia. SARAN, Luciana, Frigieri, Mariana.). Pós-tratamento da cachaça com carvão de bagaço de cana. **Revista Africana de Microbiologia**. 2017.

MANAVALAN, T., Manavalan, A., Thangavelu, KP, & Heese, K. Análise do secretoma de *Ganoderma lucidum* cultivado em bagaço de cana-de-açúcar. **Journal of proteomics**, (2012).

MANISH S, BANERJEE R. **Comparação de processos de produção de biohidrogênio**. *Int J Hydrog Energy*. 2008.

MARIANO, Adriano Pinto, DIAS, MO, JUNQUEIRA, TL, Cunha, MP, BONOMI, A., MACIEL Filho, R. Produção de butanol em uma biorrefinaria brasileira de cana-de-açúcar de primeira geração: aspectos técnicos e econômicos de projetos greenfield. **Tecnologia de biorecursos**. 2013.

MARTÍN, Carlos, MARCET, M., ALMAZÁN, O., JÖNSSON, LJ. Adaptação de uma cepa de *Saccharomyces cerevisiae* utilizando xilose recombinante a um hidrolisado de bagaço de cana-de-açúcar com alto teor de inibidores de fermentação. **Bioresource Technology**, 2017.

MARTINEZ, Elias. HERNANDEZ, Myriam, ADELA, Allieri, JHUMA Sadhukhan e JORGE Aburto Anell. Estratégias de Valorização do Bagaço de Cana para Produção de Bioetanol e Energia, Cana-de-Açúcar - **Tecnologia e Pesquisa**, Alexandre Bosco de Oliveira, IntechOpen. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/57967>, acessado em 30 de dezembro de 2021.

MAZUTTI, Marcio., BENDER, JP, TREICHEL, H., & Di Luccio, M. Otimização da produção de inulinase por fermentação em estado sólido utilizando como substrato bagaço de cana-de-açúcar. **Enzyme and Microbial Technology**, 39 (1), 56-59.2016.

MERWE, Alicia. . **Uma abordagem para otimização da hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar com base no pré-tratamento organosolv.** *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 85 (8), 2018.

MESA, Leyanis., LÓPEZ, N., CARA, C., CASTRO, E., GONZÁLEZ, E., MUSSATTO, Sl. Avaliação tecnoeconômica de estratégias baseadas no pré-tratamento organosolv em duas etapas e hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Energia Renovável**, 86, 2020.

MORAES, George Jackson de. Influência de amostras de bagaço de cana-de-açúcar mista avaliadas pela composição elementar e físico-química. **Culturas e Produtos Industriais**, v. 64, p. 52-58, 2015.

NOSRATPOUR, Karimi K, SADEGHI Mirtes. Melhoria da produção de etanol e biogás a partir do bagaço de cana-de-açúcar usando pré-tratamentos alcalinos de sódio. *J Ambiente Gerenciar*. 2018.

OUNAS Shiyi, YANLIN Luo FENG Xue CAIHUAN Huang NING Zhang ZILI Liu. Produção de ácido cumárico a partir do bagaço de cana-de-açúcar. **Innov Food Sci Emerg Technol**. 2019.

PRAMANIK, Sajib, v. 2, p. 100013, Pramanik, SK, Mahmud, S., Paul, GK, Jabin, T., Naher, K., Uddin, MS, e é, MA. Otimização da fermentação da produção de celulase a partir do bagaço de cana-de-açúcar por *Bacillus pseudomycooides* e estudo de modelagem molecular da celulase. **Current Research in Microbial Sciences**, 2021.

PRASAD, Shaleshni Devi. Produção de butanol a partir de resíduos de açúcar e madeira e estimativa do potencial de produção de butanol em fiji. 2020.

REN, Li. RUN, Cang. FENG Peng. Carboximetilação de hemiceluloses isoladas de bagaço de cana-de-açúcar. *Polim Degrad Stab*. 2018.

ROBERTO, I.C., LACIS, L.S., BARBOSA, M.F.S., & De Mancilha, I.M. Aproveitamento do hidrolisado hemicelulósico do bagaço de cana-de-açúcar por *Pichia stipitis* para a produção de etanol. **Process Biochemistry**, 26(1). 2017.

SANJUAN, R., J. ANZALDO, J. VARGAS, J. Turrado. Composição morfológica e química da medula e fibras do bagaço de cana-de-açúcar mexicano. **Holz Als Roh Und Werkst.** 2017.

SEABRA, Joaquim, TAO, L., Chum, HL, & Macedo, IC. Uma avaliação tecnoeconômica dos efeitos das opções de refinarias centralizadas de etanol celulósico e coprodutos com agrupamento de usinas de cana-de-açúcar. **Biomassa e bioenergia**, 34 (8), 2019.

SOUZA, Agda. TEIXEIRA, Roque Borba. SANTOS, Ana Flavia. Reaproveitamento de cinzas de bagaço de cana (SCBA) para produção de materiais cerâmicos. **Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, FCT/Unesp.** Presidente Prudente, SP, 2011.

SPORCK, Daniele., REINOSO, FA, RENCORET, J., Gutiérrez, A., JOSÉ, C., FERRAZ, A., MILAGRES, AM. Extração de xilana de bagaço de cana-de-açúcar pré-tratado utilizando abordagens alcalinas e enzimáticas. **Biotecnologia para biocombustíveis**, 10 (1), 1-11. (2017).

SUN, Jing Xia. FENG Sun, RUN Cang Sun, PAUL Fowler, e MARK S. Baird. Inhomogeneidades na estrutura química da lignina do bagaço de cana-de-açúcar. **J Agric. Food Chem.** 2017.

TSIGIE, YA, Wang, CY, Truong, CT e Ju, YH. Produção de lipídios de *Yarrowia lipolytica* Po1g cultivada em hidrolisado de bagaço de cana-de-açúcar. **Bioresource Technology**, 102 (19) 2011.

UMENWEKE, Great Ighalo, ANUSI, M., Itabana, EKEH, L. Biorrefinação Termoquímica Seleccionada: Avaliação das Tendências e Progressões Atuais. **European Journal of Sustainable Development Research.** (2021).

VELASCO, Josman., PELLEGRINI, AGV, KADOWAKI, MAS, SANTO, MCE, POLIKARPOV, I. SEGATO, F. Análise comparativa de dois LPMOs recombinantes de *Aspergillus fumigatus* e seus efeitos na sacarificação do bagaço de cana-de-açúcar. **Enzyme and Microbial Technology**, 144, 109746. 2021.



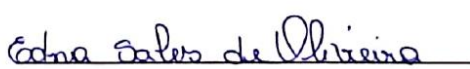
VELMURUGAN, Rajendran; MUTHUKUMAR, Karuppan. Pré-tratamento alcalino assistido por ultrassom do bagaço de cana-de-açúcar para produção de açúcar fermentável: otimização através da metodologia de superfície de resposta. **Revista Tecnologia de biorecursos**, v. 112, p. 293-299, 2012.

VEZA, Ibham; SAID, Mohd Farid Muhamad; LATIFF, Zulkarnain Abdul. Avanços recentes na produção de butanol por fermentação de acetona-butanol-etanol (ABE). **Biomassa e Bioenergia**, v. 144, p. 105919, 2021.

YUE, Tian., JIANG, D., ZHANG, Z., ZHANG, Y., LI, Y., Zhang, T. Exploração do potencial de produção de bio-hidrogênio por foto fermentação. **Tecnologia de Biorecursos.** 2021.

ZACHARIA, Bianca Mohamed, YADAV, S., MACHHIRAKE, NP, Kim, SH, Lee, BD, Jeong, H., KUMAR, R. Análise do potencial de bio-hidrogênio e bio-metano para produção de bio-hythane utilizando diversos resíduos agrícolas. ***Tecnologia de biorecursos***, 309, (2020).

8. ANEXO - Termo de Anuência

	COLÉGIO MUNICIPAL ADAUTO CARÍCIO	
Cadastro Escolar M - nº252001; Aut. Portaria nº 5985 de 27/07/82; D. O. de 29/07/82; INEP 26097869		
Belém de Maria - Pernambuco		
TERMO DE ANUÊNCIA		
<p>Declaramos para os devidos fins que estamos de acordo com a realização das aulas intitulada "Obtenção do biocombustível a base a cana de açúcar e a geração de energia com o bagaço da cana de açúcar", ministradas pela Profª. Deise Gomes de Oliveira , no período de 22/10/2021 à 10/12/2021 nesta instituição de ensino. Estamos cientes que a realização destas aulas é parte integrante das atividades do curso de especialização em ensino de ciência – Ciência é 10!</p>		
Belém de Maria, 29 de outubro de 2021.		
		
Diretora		
Edna Sales de Oliveira Gestora Escolar Port. GP nº 027/2021 - Mat. 188 Colégio Municipal Adauto Carício		
Colégio Municipal Adauto Carício Inscrição nº 252001 Aut. Portaria nº 5985 de 27/07/1982 D. O. de 29/07/1982 INEP: 26097869 CNPJ: 01.933.851/0001-80 Rua José Eugênio Cavalcante, 94 Belém de Maria - PE		
Rua José Eugênio Cavalcanti- 94 - Centro - Belém de Maria/PE - CEP: 55.440-000 - Tel: (81) 3686-1203		