



**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS PENEDO
CURSO TÉCNICO INTEGRADO EM AÇÚCAR E ÁLCOOL**

EDENILSON GUIMARÃES FERREIRA

APROVEITAMENTO DOS SUBPRODUTOS DA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA

**PENEDO, AL
2022**

EDENILSON GUIMARÃES FERREIRA

APROVEITAMENTO DOS SUBPRODUTOS DA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Técnico de Nível Médio Integrado em Açúcar e Álcool do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Açúcar e Álcool.

Orientadora: Ma. Ana Laura Oliveira de Sá Leitão

PENEDO, AL
2022



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Penedo
Biblioteca

F383a

Ferreira, Ednilson Guimarães.

Aproveitamento dos subprodutos da indústria sucroalcooleira / Ednilson
Guimarães Ferreira. – 2022.

29f. ; il.

Orientação: Prof.^a Ana Laura Oliveira de Sá Leitão.

Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico de Nível Médio Integrado em Açúcar
e Álcool) – Instituto Federal de Alagoas, Campus Penedo, Penedo, 2022.

Trabalho em formato digital.

1. Indústria sucroalcooleira. 2. Usinas - Subprodutos. 3. Cana-de-açúcar. I. Leitão,
Ana Laura Oliveira Sá. II. Título.

CDD: 664.1

Maria Luzia Alexandre de Oliveira
Bibliotecária/Documentalista
CRB-4/2159

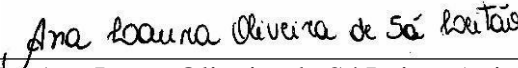
EDENILSON GUIMARÃES FERREIRA

APROVEITAMENTO DOS SUBPRODUTOS DA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Técnico de Nível Médio Integrado em Açúcar e Álcool do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Açúcar e Álcool.

APROVADO EM: 27/04/2022.

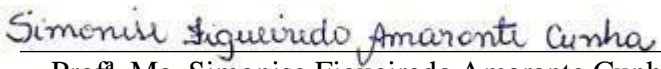
BANCA EXAMINADORA



Prof^ª. Ma. Ana Laura Oliveira de Sá Leitão (orientadora)
Instituto Federal de Alagoas - IFAL



Prof^ª. Dra. Martha Suzana Rodrigues dos Santos Rocha
Instituto Federal de Alagoas - IFAL



Prof^ª. Ma. Simonise Figueiredo Amarante Cunha
Instituto Federal de Alagoas – IFAL

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus e a Nossa Senhora por suas infinitas bondades me permitirem chegar ao final do curso, me abençoando e me dando forças para continuar quando várias vezes pensei em desistir.

Além disso, dedico também a minha mãe, Suelena Macena, minha avó, Maria Aparecida Macena e aos meus demais familiares.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus por, ao longo deste processo complicado e desgastante, me ter dado forças para continuar, nos momentos em que pensei em desistir.

Sou imensamente grato a minha orientadora, Ana Laura, e a minha banca, Martha Rocha e Simonise Amarante, que são especiais demais para mim. Além disso, agradeço aos demais docentes que lecionaram as diversas disciplinas da grade curricular do curso e que foram essenciais para minha formação, em especial, Kleyse Galdino, Cintia Teles, Andrea Macleybiane, Taciane Santos, Vanessa Dayane, que foram/são motivos de inspiração.

Sou grato a todos da minha família, especialmente a minha mãe, Suelena Macena, a minha avó, Maria Aparecida Macena, a minha madrinha, Margarete Macena e a as minhas tias, Edenilza Macena, Marlene Macena e Sueli Macena, por estarem ao meu lado e me fazerem acreditar que tinha forças e as ferramentas necessárias para chegar até aqui.

E claro, agradeço a todos os meus amigos, especialmente a aqueles que tornaram os meus dias no IFAL mais leves e suportáveis.

EPÍGRAFE

“A Cruz Sagrada seja a minha luz,
Não sejas o dragão o meu guia.
Retira-te, satanás!
Nunca me aconselhes coisas vãs.
É mal o que tu me ofereces,
bebi tu mesmo os teus venenos!”

RESUMO

O plantio da cana-de-açúcar está relacionado com a história e o desenvolvimento econômico do Brasil. Este cultivo, desde os tempos coloniais passou por um significativo desenvolvimento agrônomo e industrial. O cultivo da cana-de-açúcar no Brasil deu pontapé inicial a um grande setor industrial devido aos principais produtos obtidos dessa planta: o açúcar e o álcool etílico (etanol). O complexo sucroalcooleiro é considerado o mais moderno do mundo, tendo o Brasil assumido a posição de liderança na produção de etanol no ano de 2021. Por outro lado, este setor é responsável por impactos ambientais, tanto pelo intenso uso de recursos naturais, quanto pela grande quantidade de resíduos gerados, sendo este um dos principais problemas enfrentados pela indústria sucroalcooleira. Por este motivo, o presente trabalho tem como objetivo apresentar quais são os subprodutos da indústria sucroalcooleira e suas respectivas formas de aproveitamento. Portanto, foi realizada uma pesquisa bibliográfica, por meio de artigos, monografias, dissertações e teses, em sites como *google* acadêmicos e *SciELO* e observou-se que o reaproveitamento dos subprodutos da indústria sucroalcooleira pode ser de grande interesse, tanto lucrativo, quanto socioambiental.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar; Açúcar; Álcool; Aproveitamento; Subprodutos.

ABSTRACT

The planting of sugarcane is related to the history and economic development of Brazil. This cultivation, since colonial times, has undergone tremendous agronomic and industrial development. The cultivation of sugarcane in Brazil kick-started a great business due to the main products obtained from this plant: sugar and ethyl alcohol (ethanol). The sugar alcohol complex is considered the most modern in the world, with Brazil taking a leading position in the production of ethanol. On the other hand, this sector is responsible for environmental impacts, both due to the intense use of natural resources and the large amount of waste generated, the latter being one of the main problems faced by the sugar alcohol industry. For this reason, the present work aims to present which are the by-products of the sugar and alcohol industry and their respective forms of use. Therefore, a bibliographic research was carried out, through articles, monographs, dissertations and theses, on sites such as Google Scholar and SciELO and it was observed that the reuse of by-products of the sugar alcohol industry can be of great interest, both profitable and socio-environmental.

Keywords: Sugarcane; Sugar; Alcohol; Use; By-products.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cana-de-açúcar.....	12
Figura 2: Fluxograma da produção de açúcar e álcool.....	15
Figura 3: Bagaço da cana-de-açúcar.....	18
Figura 4: Torta de filtro.	19
Figura 5: Melaço.....	21
Figura 6: Vinhaça	22
Figura 7: Óleo fúsel.	24

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 CANA-DE-AÇÚCAR	12
3 INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA	13
4 PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E ÁLCOOL.....	14
5 SUBPRODUTOS DA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA.....	17
4.1 BAGAÇO	17
4.2 TORTA DE FILTRO.....	19
4.3 MELAÇO	20
4.4 LEVEDURA.....	21
4.5 VINHAÇA.....	22
4.6 ÓLEO FÚSEL	23
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	26
REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

A economia do Brasil é dominada pela agricultura, o país produz café, cana-de-açúcar, soja, mandioca, frutas, grãos e outros alimentos. Essa produção em larga escala gera diariamente grandes quantidades de resíduos que representam algumas das fontes de energia renovável mais abundantes do planeta. Além disso, o acúmulo dessa biomassa pode prejudicar o meio ambiente e levar à perda de materiais potencialmente valiosos. Esses motivos, aliados ao baixo custo dessas matérias-primas, aumentaram o interesse em utilizar esses resíduos em processos biotecnológicos (BIOTECNOLOGIA, 2018).

O nordeste brasileiro é uma das regiões de grandes produtores da cana-de-açúcar. O setor sucroalcooleiro é expressivo na economia brasileira e possui grandes números de agroindústrias responsáveis pela geração de milhares de empregos diretos e indiretos em todas as regiões do país. Diante disso, é significativo investigar como o setor afeta a sociedade, a economia e o meio ambiente a partir de uma perspectiva de sustentabilidade, e a destinação de seus resíduos e subprodutos (SILVA *et al.*, 2021).

A indústria sucroalcooleira aproveita tudo da planta, o que torna este setor bastante rico. No processamento da cana-de-açúcar, são obtidos produtos como: a cachaça, o açúcar, o etanol e a rapadura. Além disso, também é possível obter alguns subprodutos, tais como: a vinhaça, o bagaço, o melaço etc. (SILVA, 2019).

De acordo com Chieppe Júnior (2012), com o avanço da tecnologia, os resíduos industriais da indústria sucroalcooleira deixaram de ser considerados apenas resíduos e passaram a ser conhecidos como subprodutos. A vinhaça, por exemplo, era despejada em córregos e rios, resultando em grandes problemas ambientais. Só depois de alguns estudos foi possível descobrir a viabilidade de usar esses resíduos industriais, transformando em uma fonte de renda, expandindo os limites dos produtos advindos da cana-de-açúcar.

Diante do que foi visto, foi realizada uma pesquisa bibliográfica, por meio de artigos, monografias, dissertações e teses, em sites como *google* acadêmicos e *SciELO*, tendo como objetivo deste trabalho apresentar por meio de uma revisão bibliográfica os principais subprodutos da indústria sucroalcooleira, bem como suas formas de aproveitamento, onde observa-se que o aproveitamento dos subprodutos da indústria sucroalcooleira pode ser de grande interesse, tanto lucrativo, quanto socioambiental.

2 CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar, Figura 1, é pertencente à família Poaceae, a qual tem-se o arroz, o milho, o sorgo, assim como outras gramíneas para ser representada e possuem crescimento de caule em colmos, folhas de sílica em suas bordas e forma de inflorescência como principais características. A cana-de-açúcar é classificada como: Magnoliophyta (divisão), Liliopsida (classe), Graminales (ordem), Poaceae (família), Saccharum (gênero), *Saccharum officinarum*, *Saccharum spontaneum*, *Saccharum sinensis*, *Saccharum barbiri* e *Saccharum robustum* (espécie) (SILVA & SILVA, 2012).

Ainda de acordo com Silva & Silva (2012), no Brasil, em 1532, chegou a primeira muda da cana-de-açúcar, trazida por Martim Affonso de Souza, desse modo, deu início a seu cultivo e construiu o primeiro engenho de açúcar localizado na Capitania de São Vicente, ao qual deu o nome de “São Jorge dos Erasmos”. Além disso, foi no Nordeste Brasileiro, particularmente na Capitania de Pernambuco que os engenhos de açúcar aumentaram.

Figura 1: Cana-de-açúcar.



Fonte: BATISTA, 2017.

O cultivo da cana-de-açúcar no Brasil deu pontapé inicial a um grande setor industrial devido aos principais produtos obtidos dessa planta: o açúcar e o álcool etílico (etanol). A crise do petróleo na década de 70 e a criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool),

contribuíram significativamente para a produção do etanol, pois um dos objetivos do Proálcool foi substituir os veículos a gasolina por veículos à álcool (SILVA *et al.*, 2021).

O Brasil é o maior produtor mundial da cana-de-açúcar e o maior exportador dos produtos derivados deste cultivo, equivalente a 23% da produção global e a 49% da exportação mundial. A produção da cana-de-açúcar é bastante relevante para economia brasileira e equivale a 6,4% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, com estimativa de produção de 623.317.212 toneladas de cana-de-açúcar na safra 2021 (ÚNICA, 2021; IBGE, 2021).

Além de grande importância para a economia brasileira, a indústria sucroalcooleira possui grandes vantagens por utilizar todas as partes da cana-de-açúcar gerando produtos como: açúcar e álcool (principais produtos), cachaça, rapadura, além disso, pode ser obtido diversos subprodutos tais como: vinhaça e bagaço (SILVA, 2019).

3 INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA

O setor sucroalcooleiro tem grande importância para a economia do Brasil, com um número significativo de agroindústrias distribuídas em todo o país, o PIB do agronegócio brasileiro progrediu 24,31% em 2020, comparado a 2019, e alcançou participação de 26,6% no PIB brasileiro. Em valores monetários o PIB do agronegócio totalizou a quase R\$2 trilhões e o PIB do país totalizou a R\$7,45 trilhões (SILVA *et al.*, 2021; CNABRASIL, 2021).

O Brasil tem destaque no cenário mundial dos outros países por possuir aspectos geográficos particulares dos demais. A posição geográfica do Brasil, onde grande porção de seu território localiza-se no sentido norte-sul, possibilita ao país diversidade de microclimas e a distribuição das unidades produtoras dentro do território brasileiro facilita a produção da cana-de-açúcar e seus derivados. A disponibilidade de produção em diversas regiões do país e em diferentes períodos facilita a distribuição do etanol combustível, que como consequência dessa distribuição, o país consegue manter a produção de açúcar e etanol por praticamente todos os meses do ano (CONAB, 2019). Diferentemente do Brasil, onde somente a cana-de-açúcar é a principal matéria prima para a produção do açúcar e álcool, atualmente, a produção destes produtos no mundo é derivada de outras matérias primas: a beterraba, o sorgo, o trigo, a cevada, o arroz, a aveia e o milho (ILÁRIO, 2020).

As indústrias sucroalcooleiras agregam contribuições significativas para a economia, por outro lado, este setor é responsável por impactos ambientais, tanto pelo intenso uso de recursos naturais, quanto pela grande quantidade de resíduos gerados (ILÁRIO, 2020). A grande quantidade de resíduos gerados pela indústria, quando não bem reaproveitados, podem gerar

grandes problemas ambientais, mas quando feito o seu devido reaproveitamento reduzem consideravelmente esses possíveis riscos ambientais, custos de produção, melhoram a imagem da empresa, além de melhorar as perspectivas de negócios (NOGUEIRA & GARCIA, 2013).

4 PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E ÁLCOOL

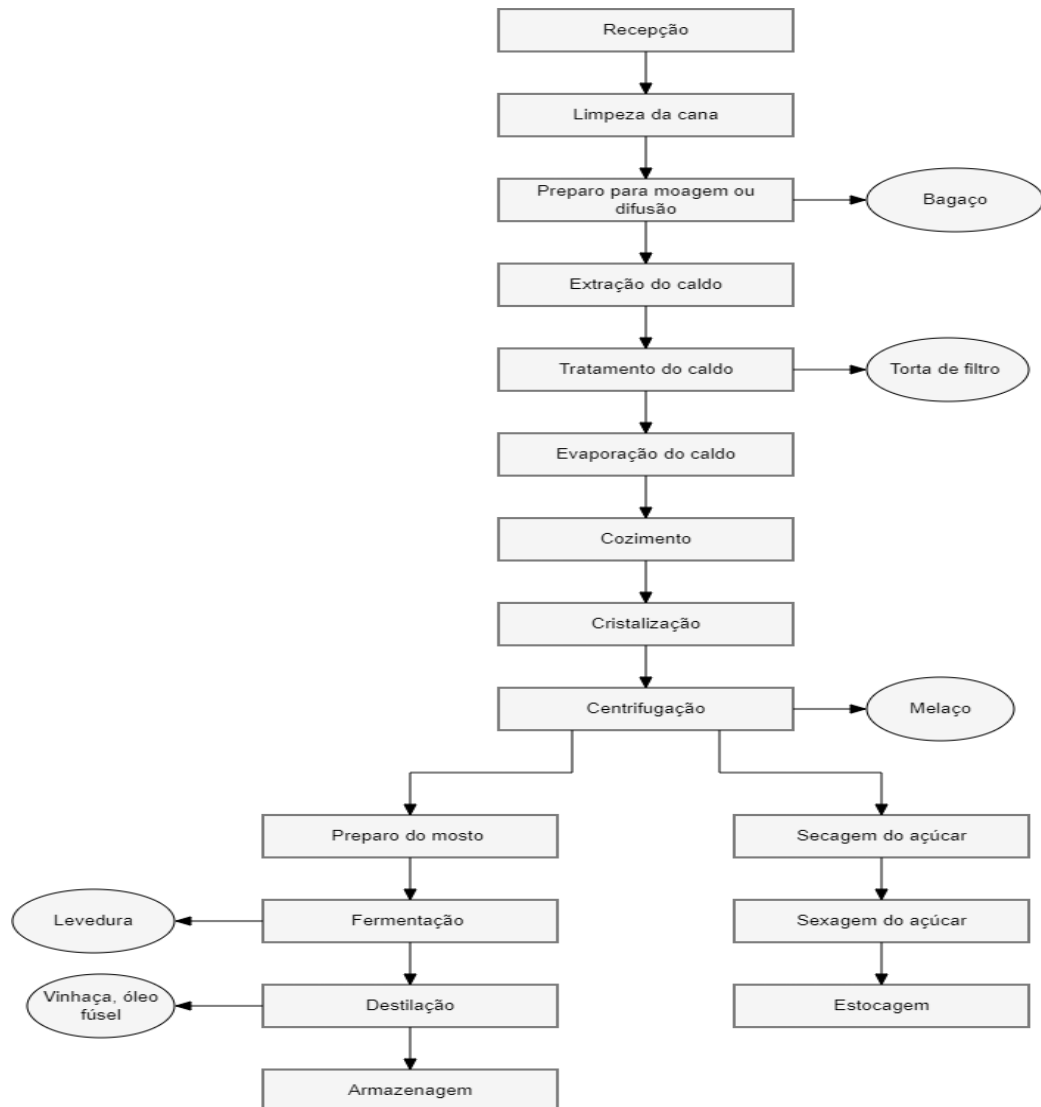
Até novembro de 2021, a safra 2021/2022 resultou em 31,84 milhões de toneladas de açúcar, na primeira quinzena de novembro, o que antes era de 37,66 milhões de toneladas observado no mesmo período do ano anterior, sendo assim, ocorreu queda de 15,44%. Já em relação a fabricação acumulada de etanol constatou 25,84 bilhões de litros, sendo 10,39 bilhões de litros de etanol anidro, e 15,45 bilhões de litros de etanol hidratado (ÚNICA, 2021).

Considera-se uma usina produtora de açúcar como uma indústria de extração, levando em consideração o fato de que o açúcar já está presente na natureza, por meio da cana-de-açúcar, sendo assim, na indústria ocorre somente a concentração deste açúcar em suas diversas modalidades. As etapas de fabricação do açúcar dividem-se em: recepção da matéria-prima, extração da sacarose ou moagem, tratamento do caldo, evaporação, cristalização, supersaturação, centrifugação, secagem e armazenamento (MACHADO, 2012).

De acordo com Chieppe Júnior (2012) a moagem produz bagaço e um caldo, conhecido como garapa, rica em sacarose, depois desse processo ocorre a filtração da garapa-resíduo, onde o bagaço pode ser usado como cogeração de energia e a garapa é aquecida para eliminar a água, formando o melaço, do qual pode-se obter tanto o açúcar quanto o álcool. O álcool é obtido através da fermentação alcoólica. A ação dos microrganismos produz as enzimas que agilizam a transformação do açúcar e agem como catalisadores da reação transformando o açúcar em álcool, depois da etapa de fermentação ocorre a destilação, que é uma técnica de separação de mistura, para separar o álcool da água.

A Figura 2 apresenta as etapas para obtenção de açúcar e álcool, bem como os subprodutos que são gerados nesses processos.

Figura 2: Fluxograma da produção de açúcar e álcool.



Fonte: adaptado de GOMES *et al.* (2016).

As práticas industriais e agropecuárias podem gerar grandes impactos ambientais por utilizarem agrotóxicos, adubos sintéticos, entre outros agentes que poluem, geram degradação e comprometem a biodiversidade e o bioma onde as unidades produtoras e fazendas de produção estão instaladas. Desse modo, é necessário que haja conscientização da gestão desses setores com planejamento para um bom desenvolvimento sustentável (SILVA *et al.* 2021).

O processo de produção do açúcar e álcool inicia na etapa agrícola, a qual é dividida em três fases: o cultivo, a colheita e o transporte da cana-de-açúcar. Para o cultivo da cana (primeira fase), é importante observar a escolha da variedade da cana, baseado nas propriedades climáticas e morfológicas da região do plantio. A colheita (segunda fase) geralmente é realizada nas temporadas mais secas do ano para beneficiar a maturação, na maioria das vezes é realizada

de forma manual. E para finalizar as etapas agrícolas é realizado o transporte da cana e deve ser realizado da forma mais rápida possível, para evitar perda na qualidade do produto (PEREIRA *et al.*, 2019; FLAUSINIO, 2015).

Quando a cana chega à usina, inicia-se a fase industrial da produção de açúcar e álcool, se a colheita foi realizada de forma manual, é necessário que a cana seja lavada e picada, para depois ser moída, mas caso a forma de colheita foi a mecanizada não é necessário que a cana seja lavada e picada, assim sendo, a cana já é enviada para a moagem, a etapa de moagem deve extrair o caldo como também produzir o bagaço (NOVACANA, 2021).

A etapa de moagem pode ser realizada por dois diferentes processos: moendas ou difusores. Pelo processo de moendas, a cana passa por rolos de pressão, onde é realizada a retirada do caldo, para tornar o processo mais eficiente é injetada água, produzindo como resíduo o bagaço, com umidade em torno de 50%. No processo de difusores, a cana passa por repetitivas lavagens com água quente, e por fim, a cana passa por um rolo de secagem (FONSECA, 2016).

O caldo obtido é levado para produção do açúcar e etanol, os primeiros caldos extraídos são preferencialmente usados para a produção do açúcar, devido os seus maiores índices de sacarose. O caldo é submetido a um tratamento químico para coagular, flocular e precipitar as impurezas que, por meio de decantação seguida de uma filtração, são removidas. Ao fim da filtração, obtêm-se o caldo tratado e como resíduo a torta de filtro. A última etapa comum entre a produção do açúcar e etanol é a etapa de filtração, a partir disso para obtenção do açúcar o caldo tratado é enviado para etapa de evaporação e cozimento, que são encarregadas de concentrar e cristalizar a sacarose. Nem sempre se consegue a cristalização completa em um único ciclo, sendo necessário que a solução obtida, chamada mel, seja colocada novamente no processo para tentar recuperar mais açúcar. E por fim, em uma centrífuga os cristais de açúcar são separados do melaço, e seguem para secadores, depois são peneirados e armazenados (FLAUSINIO, 2015).

Ainda de acordo com Flausinio (2015), a produção do etanol é feita do caldo tratado ou da mistura do caldo e melaço (mosto) e passa pelo processo de fermentação, em dornas de fermentação alcoólicas, com a adição de leveduras que são responsáveis pela fermentação. Ao final desse processo é obtido o vinho fermentado, que possui de 7% a 10% de álcool. Para se obter um produto de maior concentração o álcool desse vinho é recuperado em colunas de destilação onde se obtém o etanol hidratado com aproximadamente 96% de álcool e 4% de água, o etanol hidratado segue para venda como produto final, já o etanol anidro é utilizado

principalmente no preparo de fórmulas farmacêuticas, cosméticas e ainda no preparo de combustíveis. Como resíduo desse processo obtém-se a vinhaça.

5 SUBPRODUTOS DA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA

É notório que o setor industrial é responsável por grandes impactos ambientais e este setor está inserido no contexto de degradação do meio ambiente, isso pelo fato de que o setor ocasiona um enorme consumo de recursos naturais, a poluição atmosférica, contaminação do solo e dos corpos hídricos. Em relação aos resíduos da produção sucroalcooleira, a vinhaça, por exemplo, que é o principal resíduo líquido gerado na usina, é excessivamente contaminadora, o derramamento da vinhaça nos cursos d'água, além de causar odores, contribui para o pioramento de endemias como a malária, a amebíase, a esquistossomose, além disto, a sua carga orgânica pode acabar com o oxigênio dissolvido na água destruindo a fauna e a flora (SANTO, 2007).

Assim como a vinhaça, os resíduos sólidos como o bagaço, levedura, também causam impactos ambientais. Todavia, a solução para este problema pode ser resolvida através do reaproveitamento destes resíduos como subprodutos da cana-de-açúcar. A ideia de sustentabilidade é necessária para que se possa aceitar possíveis ações ambientalmente e socialmente aceitáveis e justas, que possam possibilitar o contínuo desenvolvimento econômico deste setor, conciliando com a preservação ambiental e comprometimento social (CRUZ & ANDRADE, 2016).

5.1 BAGAÇO

O bagaço recém-moído é constituído por cerca de 50% de umidade, 45% de fibras lignocelulósicas que é um material complexo, formado sobretudo de celulose, hemicelulose e lignina, responsáveis pelo seu altíssimo nível energético, de 2% a 3% de sólidos solúveis, e de 2% a 3% de sólidos insolúveis. (SANTOS *et al.*, 2012).

O bagaço, apresentado na Figura 3, é um subproduto obtido no processo da moagem onde ocorre a extração do caldo, que é destinado a produção de açúcar e álcool. Através da queima desse material, nas caldeiras, é possível obter a produção de bioeletricidade, isso já vem sendo feito nas usinas, o que torna as usinas de açúcar e álcool independentes em relação a energia elétrica. A viabilidade de redução de custos para a usina, paralelo a diminuição de

impactos ambientais é o que está relacionado com a importância de se discutir sobre as formas de reaproveitamento desse subproduto (CERQUEIRA *et al.*, 2010; COSTA & DUARTE, 2010).

Figura 3: Bagaço da cana-de-açúcar.



Fonte: Portal do Agronegócio, 2021.

Segundo dados da ÚNICA (2021), a bioeletricidade proveniente do bagaço da cana-de-açúcar, é considerada a 4ª fonte mais importante da matriz elétrica brasileira. Como vantagens disso: ocorre a geração de investimentos e empregos, evita a emissão de gases do efeito estufa, a cadeia produtiva nacional é consolidada, garante picos de geração de energia durante a época de poucas chuvas, aumentando a segurança energética do país. É aproveitado apenas 15% do potencial da biomassa presente nos canaviais, se houvesse o total aproveitamento, a bioeletricidade teria potencial técnico para chegar a 148 mil GWh, o que representaria 30% do consumo de energia no Sistema Integrado Nacional (SIN). Em 2020, a produção de bioeletricidade advinda da cana-de-açúcar foi de 22,6 mil GWh, representando 82% de toda a geração de energia elétrica a partir de biomassa no país.

Outra forma de aproveitamento do bagaço da cana-de-açúcar é na produção e obtenção do etanol de segunda geração, é necessário que o bagaço seja submetido a alguns processos: pré-tratamento, hidrólise, fermentação e purificação, obtendo assim, o produto final. Diferente da produção do etanol de primeira geração, para a produção do etanol de segunda geração é necessário que a biomassa passe por mais dois processos, sendo eles: o pré-tratamento e a hidrólise. Vale ressaltar que o etanol de segunda geração, proveniente do bagaço da cana-de-

açúcar, possui maiores custos comparado ao etanol produzido do caldo da cana-de-açúcar (MARTINS *et al.*, 2014).

O aproveitamento de subprodutos agroindustriais, como o bagaço na alimentação animal (outra forma de aproveitamento desse subproduto), é eficaz para atender as exigências nutricionais, em um contexto de viabilidade econômica. Além de que, o aproveitamento de subprodutos, na alimentação animal, faz jus aos princípios de conservação do meio ambiente, dando um fim sustentável aos resíduos. O bagaço tem sido bastante utilizado na alimentação animal, e por isso, possui grande importância econômica e social, levando em consideração que diminui os custos de produção e transforma o bagaço em um alimento nobre (TEIXEIRA *et al.*, 2007, SANTOS, 2008).

5.2 TORTA DE FILTRO

A torta de filtro é um composto formado por resíduos solúveis e insolúveis, equivalente ao lodo, que é um precipitado formado na etapa de clarificação do caldo da cana. O lodo é formado por compostos orgânicos e inorgânicos insolubilizados, que passam por um processo de filtração a vácuo e então recebe a denominação de torta de filtro (FRAVET *et al.*, 2010).

A Figura 4 ilustra a torta de filtro.

Figura 4: Torta de filtro.



Fonte: Alves; Abdalla; Lima, 2017.

São produzidos de 20 a 40 quilos de torta de filtro por tonelada de cana moída, a qual possui 85% de sua composição, composta por cálcio, nitrogênio e potássio. A composição da

torta de filtro depende da variedade da cana-de-açúcar e sua maturidade. A forma mais destinada para o aproveitamento desse subproduto é para a fertilização do solo para plantio da cana-de-açúcar ou o lançamento diretamente na vala onde serão plantadas as mudas (PIACENTE, 2005).

O aproveitamento da torta de filtro como uma opção para a produção de mudas de hortaliças aumenta o fornecimento de nutrientes ideais para o progresso da planta, além de melhorar a qualidade das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo ou do substrato no qual está sendo produzido (SANTOS *et al.*, 2005). A torta de filtro também é eficaz no controle de nematoides de cisto na soja, apresentando efeitos prolongados depois de sua aplicação, ademais, assim como a torta de filtro pode ser utilizada como fertilizante, este subproduto também pode ser aplicado no controle de patógenos (OLIVEIRA *et al.*, 2005).

5.3 MELAÇO

O melaço, representado na Figura 5, é considerado o principal subproduto da indústria do açúcar, é o licor-mãe da cristalização do açúcar, gerando, em média de 40 a 60 kg por tonelada de cana moída. É o líquido adquirido como resíduo de fabricação do açúcar cristalizado, sendo resultado da centrifugação cujo não pode ser extraída mais sacarose pelos métodos convencionais (CHIEPPE JÚNIOR, 2012).

Figura 5: Melaço.



Fonte: ADMIN, 2022.

Ainda em concordância com Chieppe Júnior (2012), pelo melaço apresentar elevadas concentrações de Açúcares Redutores Totais (ART), é principalmente utilizado na produção de álcool etílico em destilarias anexas e autônomas. Além disso, é também matéria-prima na produção de fermento (levedura) industrial prensado para produção de pão, assim como em processos biotecnológicos na produção de enzimas (celulase, xilanase, alfa-amilase, dextranase), antibióticos e ácidos como ácido cítrico e ácido lático.

5.4 LEVEDURA

De acordo com Santos (2017), embora não pertença ao reino vegetal as leveduras são conhecidas como “as plantas” mais antigas cultivadas pelo homem e são historicamente reconhecidas por sua capacidade fermentativa. São utilizadas pelas indústrias de alimentos, particularmente na produção de etanol e de dióxido de carbono, que são importantes na produção de cerveja, de vinho, de álcool e fermento.

A utilização da levedura para panificação foi o primeiro processo biotecnológico para produção industrial útil ao homem. Por possuir particularidades nutritivas, as leveduras resultantes em processos fermentativos, como os de cervejaria e os de produção do álcool, começaram a ser reaproveitadas e comercializadas como alimento proteico e vitamínicos, o qual passou a ser produzida para utilização na nutrição animal (SANTOS, 2017).

Vale ressaltar que a levedura discutida aqui, é a levedura obtida no processo fermentativo. Esse subproduto possui uma composição de 62% de proteína e libera nitrogênio gradativamente, o que o transforma numa excelente fonte proteica. A combinação do bagaço com a levedura desidratada resulta numa ração completa que pode substituir o farelo de soja, na alimentação animal. Ademais, a levedura utilizada para a fabricação do pão, é resultado do melão da cana, onde o mesmo é diluído, clarificado e tratado termicamente (CHIEPPE JÚNIOR, 2012).

5.5 VINHAÇA

A vinhaça (Figura 6) é proveniente da destilação do vinho, o qual é resultado da fermentação do caldo da cana-de-açúcar ou melão. A vinhaça também é conhecida como vinhoto ou restilo. A quantidade de vinhaça obtida varia basicamente entre 12 a 18 litros para cada litro de álcool produzido, de acordo com o teor alcoólico do vinho e o vapor direto utilizado (NOGUEIRA; GARCIA, 2013, SILVA *et al.*, 2021).

Figura 6: Vinhaça.



Fonte: FINEP, 2019.

De todos os efluentes gerados pelas destilarias de etanol, a vinhaça é a que possui a maior carga poluidora. Quando lançada nos meios hídricos, a vinhaça pode ocasionar grandes

problemas ambientais, devido a alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO), tendo uma ação redutora excessivamente alta e necessita de elevadas taxas de oxigênio para equilibrar-se. A vinhaça é muito volumosa, possui características ácidas e corrosivas, o que se faz necessário passar por tratamentos prévios para facilitar o seu armazenamento e o seu transporte (SZMRECSÁNYI *et al.*, 2008).

Como formas de aproveitamento desse resíduo, tem-se a fertirrigação e a produção de biogás. A composição da vinhaça facilita o seu uso "in natura" como um biofertilizante, em um processo denominado fertirrigação, tendo como resultado os benefícios agrônomo e econômicos importantes, levando em consideração o aproveitamento da água, da matéria orgânica e dos importantes minerais para a adubação orgânica do solo (NPK) (CHRISTOFOLETTI *et al.*, 2013; SOUSA, 2018).

Na fertirrigação, a aplicação da vinhaça é feita diretamente no solo, sem nenhuma forma de pré-tratamento. As vantagens provenientes da fertirrigação está relacionada diretamente a redução de custos com a adubação, e indiretamente visto que aumentam a fertilidade natural dos solos onde esse subproduto é aplicado (CRUZ *et al.*, 2013).

De acordo com Araújo (2021) vários estudos têm sido realizados destacando a importância agrícola da irrigação com a vinhaça em canaviais. No entanto, existem estudos que diagnosticam a incidência de impactos ambientais quando não realizado o controle de dosagem ou quando realizado a aplicação da vinhaça por um longo período de tempo na mesma área.

Devido ao seu grande volume produzido, a vinhaça se destaca dentre as diferentes fontes com grandes vantagens potencial para a geração de biogás que é uma mistura de gases obtida pela decomposição biológica da matéria orgânica na ausência de oxigênio. Composta principalmente de gás metano e gás carbônico. Resultante da escala de produção apresentada nas usinas de etanol. Tanto a quantidade produzida, quanto o poder energético característico da vinhaça, contribuem com a utilização dessa fonte na matriz energética brasileira. No entanto, é necessário que haja um estudo acerca do potencial de geração da vinhaça, com o objetivo de entender sua capacidade de produção e importância no cenário brasileiro (CORRÊA, 2015).

5.6 ÓLEO FÚSEL

O óleo fúsel (Figura 7) é um subproduto da destilação do álcool etílico, retirado lateralmente da coluna referente à zona de retificação. É a mistura de álcool etílico e álcool superiores, furfural, aldeídos, ácidos graxos, entre outros. Gerado na proporção de 0,05 a 0,2 litros para 100 litros de álcool, a composição do óleo fúsel varia de acordo com a natureza e da

qualidade da matéria-prima, assim como da qualidade do álcool produzido (CHIEPPE JÚNIOR, 2012).

Figura 7: Óleo fúsel.



Fonte: Fermentec, 2019.

Como forma de aproveitamento desse subproduto tem-se a aplicação do produto nas indústrias de tintas, plastificantes, perfumarias e de alimentos (SILVEIRA, 2016). Quando o óleo fúsel é retirado da coluna de destilação, ele contém etanol, que deve ser removido para agregar mais valor comercial a este subproduto, pois empresas de tintas, alimentos ou vernizes que compram esses resíduos não estão interessadas em etanol, mas em álcool isoamílico, que é um dos principais componentes (SILVA, 2019).

A Tabela 1 apresenta de forma resumida os principais subprodutos e suas respectivas quantidades geradas e formas de aplicações.

Tabela 1 - Principais subprodutos da indústria sucroalcooleira, as quantidades que são gerados e suas principais aplicações.

Subprodutos	Quantidade gerada	Principais aplicações
Bagaço	280 kg/tonelada de cana processada	Produção de bioeletricidade, Produção de etanol de segunda geração e alimentação animal.
Torta de filtro	20 a 40 kg/tonelada de cana processada	Fertilizantes.
Melaço	40 a 60 kg/tonelada de cana processada	Produção de álcool etílico, leveduras prensadas para panificação, produção de enzimas, antibiótico e ácidos.
Vinhaça	12 a 18 litros/litros de álcool	Utilizado na fertirrigação, como fertilizante e usado na produção de biogás.
Óleo fúsel	0,05 a 0,2 litros/100 litros de álcool	Nas indústrias de tintas, plastificantes, perfumarias e de alimentos.
Levedura	2,5 kg/100 litros de álcool	Ração animal.

Fonte: adaptado de SILVA *et al.*, 2021.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em conta que a crescente demanda energética mundial proporcionou o aumento da produção do álcool combustível proveniente de fonte renovável, assim como a produção do açúcar, o grande volume de subprodutos é um dos principais problemas enfrentados pela indústria sucroalcooleira. Por isto, através da pesquisa bibliográfica, foi possível identificar quais são os subprodutos gerados e suas possíveis formas de aproveitamento, diminuindo os potentes impactos ambientais causados pela cultura e colheita da cana-de-açúcar e pelas etapas industriais. É possível realizar esse reaproveitamento na própria indústria geradora, por exemplo o bagaço da cana-de-açúcar, onde seu aproveitamento é realizado na própria indústria sucroalcooleira como fonte de produção de bioeletricidade nas caldeiras para tornar o processo mais limpo e viável economicamente, tornando esta indústria com processos produtivos sustentáveis.

Conclui-se que as alternativas apresentadas têm o intuito de agregar valor a esses subprodutos da indústria sucroalcooleira, uma vez que as formas de reaproveitamento podem ser aplicadas em diferentes indústrias e de diferentes formas, seja na produção de alimentos como no caso do óleo fúsel; seja como ração animal, produção de bioeletricidade no caso do bagaço e seja como fertilizantes referindo-se a vinhaça, entre outros.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, I. S. **Cultivo da cana de açúcar fertirrigada com vinhaça: uma revisão de literatura.** Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Sertão Pernambucano Campus Petrolina Zona Rural. Petrolina – PE. 2021.
- ALVES, D. R; ABDALLA, M. G; LIMA, A. F. **Aplicação da torta de filtro como adubos em canaviais.** Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química, Campus Aeroporto. Uberaba – MG. 2017.
- ADMIN. Melação da cana líquido: conheça detalhes desse subproduto. 20022. Disponível em: <<https://mellacodecana.com.br/melaco-de-cana-liquido-conheca-detalhes-deste-subproduto/>>. Acesso em: 11 de abril de 2022.
- BIOTECNOLOGIA. Resíduos agroindustriais: meios de culturas sustentáveis. 2018. Disponível em: <<https://profissaobiotec.com.br/meios-de-cultura-sustentaveis-2/>>. Acesso em: 12 de outubro de 2021.
- BATISTA, P. A evolução tecnológica da indústria da cana-de-açúcar. 2017. Disponível em: <<https://www.bioblog.com.br/a-evolucao-tecnologica-da-industria-da-cana-de-acucar/>>. Acesso em: 11 de abril de 2021.
- CERQUEIRA, D. A; FILHO, G. R; CARVALHO, R. A; VALENTE, A. J. M. Caracterização de Acetato de Celulose Obtido a partir do Bagaço de Cana-de-Açúcar por 1H-RMN. *Polímero*, v. 20, n. 2, p. 85 – 91, 2010.
- CHIEPPE JÚNIOR, J. B. **Tecnologia e fabricação do álcool.** Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012.
- CHRISTOFOLETTI, C. A; ESCHER, J. P. CORREIA, J. E. U. M; FONTANETTI, C. S. **Sugarcane vinasse: Environmental implication of its use.** São Paulo. 2013.
- CNA. Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. 2021. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/>>. Acesso em: 15 de outubro de 2021.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimentos. **Perfil do setor do açúcar e do etanol no Brasil**, v. 1. Brasília, 2019.
- CORRÊA, P. V. **Aproveitamento do biogás a partir da vinhaça da cana.** Universidade Federal do Rio de Janeiro – Instituto de Economia. Rio de Janeiro. 2015.
- COSTA, P. R. O; DUARTE, F. S. A utilização da biomassa da cana-de-açúcar como fonte de energia renovável aplicada no setor sucroalcooleiro. **Revista de Administração da Fatea**; v. 3, n. 3, p. 2 – 107. 2010.
- CRUZ, I. S; ANDRADE, I. C. B. Gestão ambiental iso 14001 nas indústrias sucroalcooleira em sergipe. **Interfaces Científicas – Exatas e Tecnológicas**; Aracaju, v. 2. n. 2, p. 71 – 82, 2016.

CRUZ, L. F. L. S; DUARTE, C. G; MALHEIROS, T. F; PIRES, E. Análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental das atuais formas de aproveitamento da vinhaça: fertirrigação, concentração e biodigestão. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 29. 2013.

FLAUSINIO, B. F. P. G. **Produção de energia elétrica a partir do aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar gerado no setor sucroalcooleiro de Minas Gerais**. 115 f. Tese (Doutorado em Ciências e Técnicas Nucleares), Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte - MG. 2015.

FONSECA, T. T. A. **Avaliação das influências climáticas na produção de etanol a partir da cana-de-açúcar**. Monografia (Graduação em Engenharia de Energia), Universidade de Brasília – UnB, Faculdade UnB Gama - FGA, Curso de Engenharia de Energia. 2016.

FRAVET, P. R. F; SOARES, R. A. B; LANA, R. M. Q; LANA, A. M. Q; KORNDÖRFER, G. H. Efeito de doses de torta de filtro e modo de aplicação sobre a produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar. **Ciênc. agrotec., Lavra**, v. 34, n. 3, p. 618 – 624, 2010.

FINEP. Brasil domina tecnologia que transforma vinhaça em biogás. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/noticias/todas-noticias/5935-brasil-domina-tecnologia-que-transforma-vinhaca-em-biogas>>. Acesso em 11 de abril de 2022.

FERMENTEC. O que é o óleo fúsel e impacto na usina. Disponível em: <<https://fermentecnews.com.br/2019/06/04/o-que-e-o-oleo-fusel/>>. Acesso em 11 de abril de 2022.

GOMES, A. C. A.; MEURER, A. P. S.; PINTOR, G. M. Z. O uso da logística reversa para atender a responsabilidade socioambiental: estudo de caso em uma agroindústria canavieira no Paraná. **Revista Orbis Latina**, v. 6, n. 2, p. 111-128. 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 14 de outubro de 2021.

ILÁRIO, C. V. **Aproveitamento de resíduos da cadeia sucroalcooleira para geração de energia**. Monografia (Graduação em Engenharia Química), Universidade Federal de São Carlos – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Departamento de Engenharia Química. 2020.

MACHADO, S. S. **Tecnologia da Fabricação do Açúcar**. Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, p. 74. 2012.

MARTINS, F. A.; MARTIM, T; CORRÊA, A. M; OLIVEIRA, F. F. A produção do etanol de segunda geração a partir do bagaço da cana-de-açúcar. **Revista Latino – Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 2, n. 3. 2014.

NOGUEIRA, M. A. F. S; GARCIA, M. S. Gestão dos resíduos do setor industrial sucroenergético: estudo de caso de uma usina no município de Rio Brillante, Mato Grosso do sul. **Revista do centro do Ciências Naturais e Exatas – UFSM, Santa Maria; Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET**; v. 17, p. 32175 – 3283. 2013.

NOVACANA. Como é feito o processamento da cana-de-açúcar nas usinas. 2021. Disponível em: <<https://www.novacana.com/usina/como-e-feito-processamento-cana-de-acucar>>. Acesso em: 24 de novembro de 2021.

OLIVEIRA, F. S.; COSTA, R. B.; NOGUIERA, E. N.; ROCHA, M. R. Efeito da adição de diferentes resíduos culturais ao solo sobre a população do nematóide de cisto da soja (*Heterodera glycines*). In: Congresso de pesquisa, ensino e extensão da UFG – CONPEEX, v. 2. Goiânia. **Anais eletrônicos do XIII Seminário de iniciação científica** [CD – ROM], Goiânia: UFG, 2005. n.p.

PEREIRA, I. Z.; SANTOS, I. F. S.; SILVA, H. L. C.; BARROS, R. M. Uma breve revisão sobre a indústria sucroalcooleira no Brasil com enfoque no potencial de geração de energia. **Revista Brasileira de Energia**; v. 25, n. 2, 2019.

PIACENTE, F. J. **Agroindústrias canavieiras e o sistema de gestão ambiental: o caso das usinas de bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá**. Universidade Estadual de Campinas – Instituto de Economia – Programa de pós-graduação em desenvolvimento econômico. Campinas – SP. 2005.

PORTAL DO AGRONEGÓCIO. Bagaço de cana-de-açúcar nanomodificado é capaz de ‘limpar’ água contaminada com cobre ou cromo. 2021. Disponível em: <<https://www.portaldoagronegocio.com.br/tecnologia/pesquisas/noticias/bagaco-de-cana-de-acucar-nanomodificado-e-capaz-de-limpar-agua-contaminada-com-cobre-ou-cromio>>. Acesso em: 11 de abril de 2021.

SANTO, Z. N. E. **Etanol: Impactos Sócio-Ambiental de uma Commodity em Ascensão**. Universidade Estadual Paulista – Unesp – Programa de Pós-Graduação em Economia. Araraquara. 2007.

SANTOS, A. C. P.; BALDOTTO, P. V.; MARQUES, P. A. A.; DOMINGUES, W. L.; PEREIRA, H. L. Utilização de torta de filtro como substrato para a produção de mudas hortaliças. **Colloquium Agrariae**, v. 1, n. 2, p. 1 - 5, 2005.

SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Quim. Nova**, v. 35, n. 5, p. 1004 – 1010, 2012.

SANTOS, P. P. **Uso da casca de soja ou bagaço de cana-de-açúcar na alimentação de ovinos como fonte de fibra em rações contendo alta proporção de concentrados**. Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura – Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2008.

SANTOS, V. R. **Disponibilidade e eficiência de aproveitamento de fósforo pela cana-de-açúcar sob fontes fosfatadas e torta de filtro**. 152 f. Tese (doutorado em Ciências, Área de concentração: Solo e Nutrição de Plantas). Universidade de São Paulo – Escola superior de Agricultura - “Luiz de Queiroz”. Piracicaba. 2017.

SILVA, D. L. G; BATISTI, D. L.; FERREIRA, M. J. G; MERLINI, F. B; CAMARGO, R. B; BARROS, B. C. B. Cana-de-açúcar: Aspectos econômicos, sociais ambientais, subprodutos e sustentabilidade. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, 2021.

SILVA, J. P. N; SILVA, M. R. N. **Noções da Cultura da Cana-de-Açúcar**. Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, p. 105, 2012.

SILVA, R. S. **Avaliação técnica da utilização de óleo fúsel, subproduto da produção de etanol da cana-de-açúcar: revisão**. Universidade Federal da Paraíba – Centro de Tecnologia em Desenvolvimento Regional – Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira; João Pessoa – PB. 2019.

SILVERA, E. **Resíduos Reciclados: Óleo fúsel e CO2 gerados na fabricação de etanol podem ser aproveitados na produção de substâncias químicas de uso industrial**. Indústria sucroalcooleira. 2016.

SOUZA, V. G. **Alternativa para valorização da vinhaça**. Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Química. Uberlândia – MG. 2018.

SZMRECSÁNYI, T; RAMOS, P; RAMOS FILHO, L. O; VEIGA FILHO. **Dimensão, riscos e desafios da atual expansão canavieira**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Secretaria de Gestão e Estratégia – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília – DF. 2008.

TEXEIRA, F. A; PIRES, A. V; NASCIMENTO, P. V. N. Bagaço da cana-de-açúcar na alimentação de bovinos. REDEVT. **Revista Eletrônica de veterinária**, v. 8, n. 6, p. 1-9. 2007.

ÚNICA. Alimento e energia sustentável do Brasil para o mundo. 2021. Disponível em: <<https://unica.com.br/>>. Acesso em: 10 de dezembro de 2021.