

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA - DEQ

LEONARDO SCHIRRMESTER MARCHETTI

**ANÁLISE COMPARATIVA DE UMA PLANTA DE  
ETANOL DE MILHO E DE CANA-DE-AÇÚCAR**

SÃO CARLOS -SP  
2023

LEONARDO SCHIRMEISTER MARCHETTI

ANÁLISE COMPARATIVA DE UMA PLANTA DE ETANOL DE MILHO E DE CANA-DE-  
AÇÚCAR

Trabalho de Graduação apresentada ao  
Departamento de Engenharia Química  
da Universidade Federal de São Carlos,  
para obtenção do título de bacharel em  
Engenharia Química.

Orientador: André Bernardo

São Carlos-SP  
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e Tecnologia

**Folha de aprovação**

Essa página será substituída pela folha de aprovação com a assinatura dos membros da banca (fornecida após a defesa).

## **AGRADECIMENTO**

Gostaria de agradecer, primeiramente, aos meus pais, Walkiria e Edgar, por sempre estarem do meu lado fornecendo todo o apoio que precisei durante a minha jornada até aqui, incentivando a minha formação como um cidadão e, principalmente, um ser humano melhor. À minha irmã, Beatriz, que entre fases sempre mantivemos o carinho um pelo outro e ajuda mútua para superarmos quaisquer dificuldades que enfrentamos.

Também gostaria de agradecer a minha namorada e companheira, Isabela, por todas as dificuldades que passei nessa trajetória sempre me apoiou nas decisões e situações difíceis, sem seu apoio e carinho a minha trajetória não seria a mesma. Aos meus amigos Eduardo, Renato, Thiago, André, Giovanna, Caio, e tantos outros que tornaram a experiência universitária única e prazerosa. A todos os colegas que me acompanharam nas atividades curriculares que tive o prazer de participar, Atlética da UFSCar, Comissão Pró-SEQ, o time de Basquete Masculino da UFSCar e da Eng. Química, pelos momentos compartilhados e memórias inesquecíveis.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Química (DEQ), em especial, aos professores Rosineide, André e Thiago, que me auxiliaram nos momentos finais da minha graduação com respeito e empatia.

## RESUMO

O Brasil é um dos principais produtores de etanol no mundo, apresentando como principal fonte de matéria-prima para sua produção a cana-de-açúcar, enquanto outros países como Estados Unidos apresentam participação significativa no mercado de etanol utilizando como matéria-prima o milho. Nos últimos anos, a produção de cana não teve crescimento significativo e novas plantas de etanol proveniente do milho foram implantadas no Brasil, principalmente na região Centro-Oeste, assim reduzindo a participação da cana na produção de etanol, apesar de ainda ser a principal matéria-prima utilizada. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma comparação entre as duas usinas com o foco no Brasil, a partir da metodologia de Análise SWOT (S – *Strengths*, W – *Weaknesses*, O – *Opportunities*, T – *Threats*), buscando identificar a partir da literatura os pontos que dificultam ou facilitam a implementação de um projeto no Brasil utilizando as distintas fontes no ambiente interno (operação da usina) e no ambiente externo (visão macro do projeto), construindo uma Matriz SWOT para cada projeto. Através do presente trabalho foi possível levantar como pontos principais que facilitam uma usina de etanol de milho a alta produção agrícola, a composição do milho, o período de maturação do projeto, e a possibilidade de estocagem do milho, enquanto para a cana elencou-se a produção de energia, a produtividade elevada da cana por hectare, possibilidade de produção do E2G, questão ambiental favorável, coprodutos e possível menor exposição ao mercado externo. Analisando os pontos que dificultam a implementação do projeto de milho pode-se citar o consumo de energia no processo industrial, a questão ambiental desfavorável, e maior exposição ao mercado externo, para a cana-de-açúcar notou-se o período de maturação do projeto, e a não possibilidade de estocagem da cana.

**Palavras-chave:** Usina. Etanol. Cana-de-Açúcar. Milho. Análise SWOT.

## RESUMO EM LÍNGUA ESTRANGEIRA

Brazil is one of the main ethanol producers in the world, with sugarcane as the main source of raw material for its production, while other countries like the United States have a significant share of the ethanol market using corn as raw material. In recent years, sugarcane production has not grown significantly and new corn-based ethanol plants have been implemented in Brazil, mainly in the Midwest region, thus reducing the participation of sugarcane in ethanol production, although it is still the main raw material used. In this sense, this work aims to develop a comparison between the two plants with a focus on Brazil, using the SWOT Analysis methodology (S - Strengths, W - Weaknesses, O - Opportunities, T - Threats), seeking to identify from the literature the points that hinder or facilitate the implementation of a project in Brazil using the different sources in the internal environment (plant operation) and the external environment (macro vision of the project), building a SWOT Matrix for each project. Through the present work it was possible to raise as main points that facilitate a corn ethanol plant the high agricultural production, the corn composition, the project maturity period, and the possibility of corn storage, while for sugarcane it was listed the energy production, the high productivity of sugarcane per hectare, possibility of E2G production, favorable environmental issue, co-products and possible lower exposure to the external market. Analyzing the points that hinder the implementation of the corn project, one can mention the energy consumption in the industrial process, the unfavorable environmental issue, and greater exposure to the foreign market.

**Keyword:** Ethanol Plant. Ethanol. Sugarcane. Corn. SWOT Analysis.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 - Histórico de Produção de Milho (milhões de toneladas) .....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 2 - Histórico Consumo de Milho (milhões de toneladas) .....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 3 - Produção de Milho no Brasil (milhões de toneladas) .....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 4 - Preço Mensal Histórico do Milho (R\$/saca) .....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 5 - Principais Países na Produção de Cana-de-açúcar (%).....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 6 - Produção Histórica de Cana-de-Açúcar no Brasil.....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 7 - Produção Histórica do Milho de Primeira e Segunda Safra no Brasil .....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 8 - Produtividade Histórica de Milho no Brasil.....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 9 - Produtividade Histórica da Cana-de-Açúcar no Brasil .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 10 - Anatomia do Grão de Milho .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 11 - Paiol de Tela (secagem do milho) .....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 12 - Silos de Secagem de Milho.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 13 - Composição Química do Amido.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 14 - Molécula de Maltose .....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 15 - Nós e Entrenós da Cana-de-Açúcar.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 16 - Molécula de Sacarose .....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 17 - Fluxograma Usina de Etanol de Milho .....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 18 - Fluxograma Etanol de Cana-de-Açúcar.....</b>	<b>37</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 - Matriz SWOT .....</b>	<b>13</b>
<b>Tabela 2 - Períodos de Plantio e Colheita de Milho no Mato Grosso .....</b>	<b>21</b>
<b>Tabela 3 - Períodos de Plantio e Colheita de Cana no Centro-Oeste do Brasil .....</b>	<b>23</b>
<b>Tabela 4 - Produtividade Etanol de Milho .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 5 - Matriz SWOT para Usina de Etanol de Milho .....</b>	<b>42</b>
<b>Tabela 6 - Matriz SWOT para Usina de Etanol de Cana-de-Açúcar .....</b>	<b>45</b>



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>11</b>
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>12</b>
3.1 ANÁLISE SWOT .....	12
3.2 HISTÓRICO .....	13
3.2.1 HISTÓRICO MILHO .....	13
3.2.2 HISTÓRICO CANA-DE-AÇÚCAR.....	17
3.3 ANÁLISE DE SAFRAS E PRODUTIVIDADE.....	20
3.3.1 SAFRAS E PRODUTIVIDADE MILHO .....	20
3.3.2 SAFRAS E PRODUTIVIDADE CANA-DE-AÇÚCAR .....	22
3.4 ANÁLISE BIOQUÍMICA .....	24
3.4.1 COMPOSIÇÃO E SECAGEM DO MILHO .....	24
3.4.2 PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DO AMIDO .....	27
3.4.3 COMPOSIÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	29
3.4.4 PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR A SACAROSE .....	30
3.5 FLUXOGRAMAS.....	31
3.5.1 PLANTA ETANOL DE MILHO .....	31
3.5.2 PLANTA ETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR .....	35
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>39</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>40</b>
5.1 USINA DE ETANOL DE MILHO .....	40
5.2 USINA ETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR .....	42
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A produção de etanol no mundo apresentou crescimento significativo nas últimas décadas como uma forma de reduzir a dependência de uma matriz energética proveniente do petróleo. Países como Estados Unidos, Brasil, Índia e China estão entre os maiores produtores e consumidores desta matriz recentemente (“FAOSTAT”, 2023), e políticas como o PROÁLCOOL (Programa Nacional do Alcool) no Brasil contribuíram para o crescimento do setor e busca de matrizes mais renováveis de energia do que a utilizada tradicionalmente.

Os Estados Unidos apresentam grandes produções de etanol utilizando o milho como fonte de matéria-prima, porém observando o Brasil, a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar apresentou uma importante participação sendo responsável pelo ganho de escala da utilização do etanol hidratado para utilização em automóveis, assim como do etanol anidro para a composição da gasolina nos postos. Entretanto, nos últimos 5 anos houve um grande crescimento das usinas de etanol utilizando o milho como fonte de açúcares para a produção de etanol, e apresentando safras históricas com a colheita do milho nos períodos de entressafra.

O presente trabalho busca analisar os aspectos que contribuem e dificultam a implementação de usinas provenientes da cana-de-açúcar e do milho, abordando tópicos agrícolas, físico-químicas, industriais e econômico, elencando e subdividindo os pontos pesquisados e obtidos em uma Análise SWOT para facilitar a comparação entre os dois processos, que apesar de produzirem o mesmo composto, apresentam processos e condições distintas, dificultando o processo de decisão para a implementação de uma nova planta de etanol.

Ao final do trabalho, será possível compreender as dificuldades de um processo de tomada de decisão entre as duas plantas por apresentarem diversas características que destoam, competem e até se complementam, assim aumentando a compreensão dos processos produtivos de ambas as matérias-primas e todos os aspectos delicados de cada projeto.

## **2 OBJETIVOS**

Este trabalho teve como objetivo realizar uma comparação entre a produção de etanol a partir de duas matérias-primas distintas e muito utilizadas mundialmente para a produção deste biocombustível: milho e cana-de-açúcar, utilizando a metodologia da Análise SWOT para projetos. As pesquisas realizadas tiveram como intuito compreender e trazer à discussão vantagens e desvantagens de aspectos de disponibilidade de recursos, fluxograma do processo, análise bioquímica, logístico, histórico e econômicos de ambos os processos produtivos, assim como os impactos ambientais provenientes destas atividades. Foi possível obter um panorama ampliado do processo de produção de etanol e os principais pontos que devem ser levados em consideração no processo de tomada de decisão.

## 3 REVISÃO DE LITERATURA

### 3.1 ANÁLISE SWOT

A Análise SWOT é uma ferramenta de gerenciamento de projetos que surgiu nos anos 60, foi desenvolvida como uma forma de ajudar as empresas a avaliar sua situação atual, identificando suas forças (*Strenghts* – S), fraquezas (*Weaknesses* – W), oportunidades (*Opportunities* – O) e ameaças (*Threats* – T). Desde então, a Análise SWOT tem sido amplamente utilizada em muitos setores, incluindo a engenharia, para ajudar as organizações a identificar e compreender melhor suas posições e preparar estratégias eficazes para o futuro.

A Análise SWOT permite compreender um projeto ou empresa desmembrando em aspectos internos e externos, sendo os internos as forças e as fraquezas, e os externos as oportunidades e as ameaças (FREITAS, 2012)

Na identificação de forças (S), é importante avaliar recursos técnicos, logísticos e financeiros disponíveis para o projeto. É necessário levar em consideração a localização e acessibilidade dos locais de construção, a disponibilidade de matérias-primas e equipamentos, além da capacidade técnica da equipe envolvida. Além disso, a qualidade e dedicação dos trabalhadores envolvidos também são pontos fortes importantes a serem considerados.

Na identificação de fraquezas (W), é preciso avaliar possíveis limitações técnicas e logísticas que possam afetar o projeto, como falta de acesso a matérias-primas e locais de construção inacessíveis. Além disso, é importante avaliar se há recursos financeiros suficientes para cobrir todos os custos do projeto. O despreparo ou insuficiência da equipe de trabalho também pode ser uma fraqueza importante a ser considerada.

As oportunidades (O) são possibilidades de crescimento e expansão do projeto, como a introdução de novas tecnologias e a abertura de novos mercados. É importante avaliar essas oportunidades de forma realista e determinar se são viáveis e se serão úteis para o projeto de engenharia. Além disso, é importante avaliar a disponibilidade de mão de obra qualificada e motivada, que possa contribuir para o sucesso do projeto.

Por fim, as ameaças (T) são fatores externos que podem prejudicar o projeto, como mudanças na legislação ou condições climáticas adversas. É importante avaliar

essas ameaças e determinar medidas para minimizar seus impactos no projeto. Além disso, é importante avaliar a possibilidade de falta de mão de obra qualificada ou de desentendimentos com trabalhadores, que possam prejudicar o andamento do projeto.

Em resumo, a Análise SWOT é uma ferramenta importante para a avaliação de projetos de engenharia, permitindo identificar pontos fortes, fracos, oportunidades e ameaças e garantir a viabilidade e sucesso do projeto, podendo ser representada na Matriz SWOT, como apresentada na Tabela 1 . É fundamental considerar fatores técnicos, logísticos e financeiros, bem como a qualidade e disponibilidade da mão de obra, para uma análise completa e precisa. A Análise SWOT é uma ferramenta valiosa para identificar as forças e fraquezas internas, bem como as oportunidades e ameaças externas que podem afetar o projeto de engenharia.

**Tabela 1 - Matriz SWOT**

<b>Matriz SWOT</b>	<b>Contribui para o Projeto</b>	<b>Dificulta o Projeto</b>
<b>Ambiente Interno</b>	Forças (S)	Fraquezas (W)
<b>Ambiente Externo</b>	Oportunidades (O)	Ameaças (T)

Fonte: Adaptado (LEITE; GASPAROTTO, 2018)

Para o trabalho, a análise tem como foco buscar os principais fatores que impactam a tomada de decisão na produção do biocombustível etanol e caracterizar estes pontos entre as classificações determinadas da Análise SWOT, desta forma organizando os fatores e facilitando possíveis tomadas de decisão.

## **3.2 HISTÓRICO**

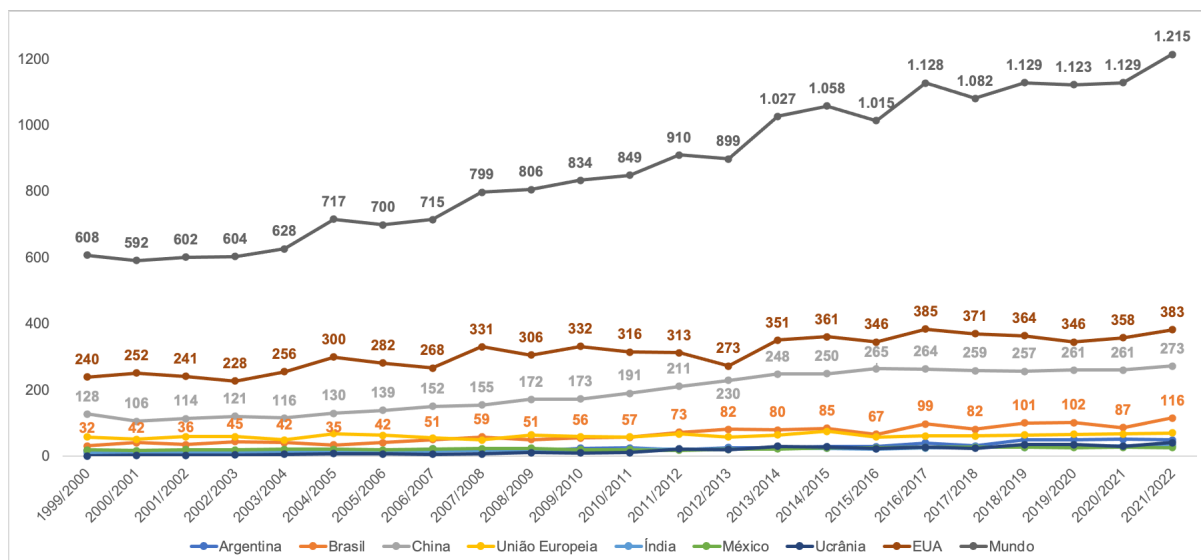
### **3.2.1 HISTÓRICO MILHO**

O milho é uma das culturas mais importantes e é amplamente cultivado em todo o mundo devido a sua versatilidade e uso em uma ampla variedade de alimentos e produtos. Ele é uma fonte importante de alimento para pessoas e animais, sendo utilizado na fabricação de muitos produtos, incluindo óleo, combustíveis, aditivos

alimentares e muito mais. Além disso, o milho é uma cultura de alta produção e é capaz de se adaptar a uma ampla variedade de condições climáticas e solo, o que o torna uma escolha popular para agricultores em todo o mundo.

Historicamente, desde a safra de 1999/2000 até 2021/22 os 4 principais produtores de milho do mundo são os Estados Unidos, China, União Europeia e Brasil respectivamente, porém desde a safra 2011/12 o Brasil passou a ser o terceiro maior produtor de milho no mundo (“USDA”, 2023). Pode-se notar a produtividade da China e do Brasil nas últimas 2 décadas estão impulsionando o crescimento da produção de milho mundial, uma vez que Brasil, China, EUA, União Europeia, Argentina, México, Ucrânia e Índia continuamente representam cerca de 82,6% de todo milho produzido.

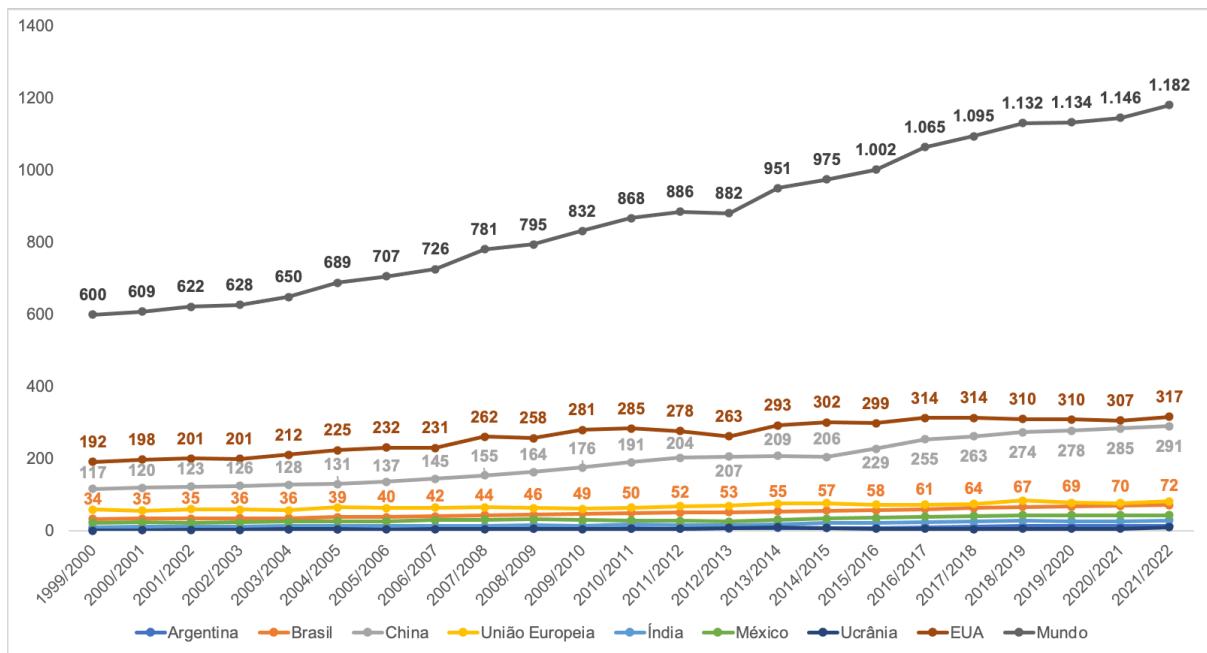
**Figura 1 - Histórico de Produção de Milho (milhões de toneladas)**



Fonte: Adaptado (USDA, 2023)

Pelo lado do consumo a lógica se mantém, uma vez que estes mesmos países representam cerca de 74% de todo o consumo mundial utilizando a média histórica das últimas 2 décadas. Apesar da participação da produção destes 8 países, alguns apresentam um déficit de consumo, como pode-se notar ao comparar a Figura 1 e 2, dessa forma estes países precisam importar milho de outras regiões, pode-se citar o caso da China, União Europeia e México que apresentam um consumo extremamente elevado.

**Figura 2 - Histórico Consumo de Milho (milhões de toneladas)**

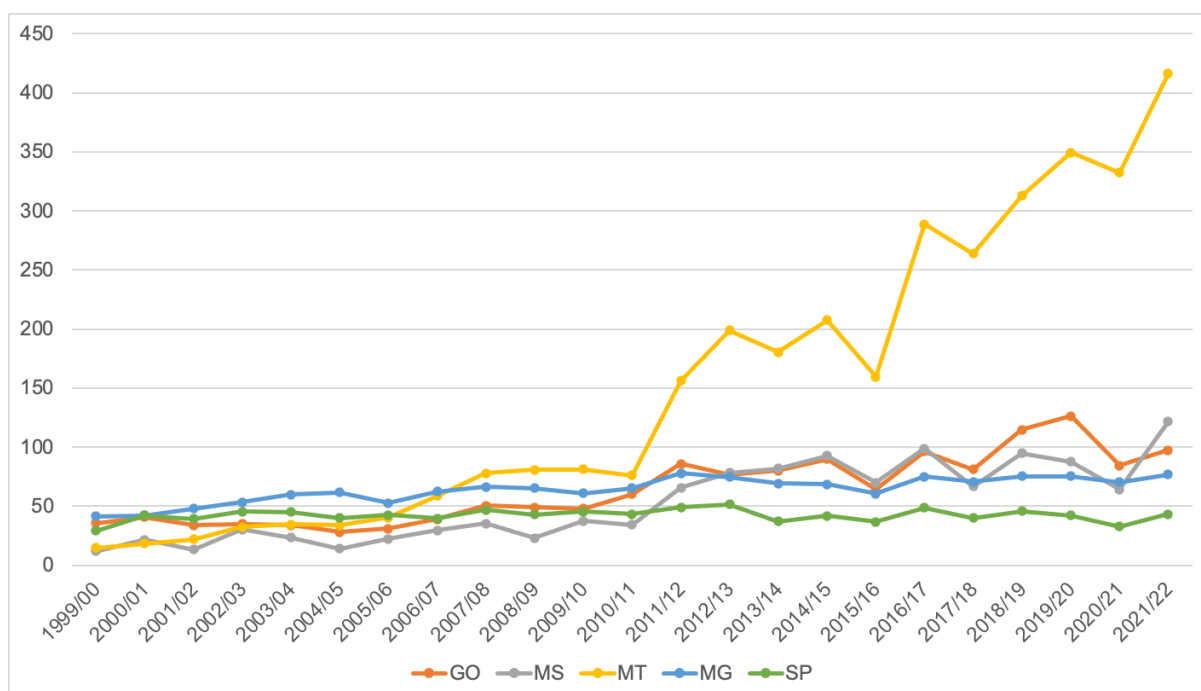


Fonte: Adaptado (USDA, 2023)

Interessante ressaltar que os países com maior superávit de produção vs consumo de milho são os EUA, Brasil e Ucrânia, enquanto a Índia apresenta uma relação de consumo e produção muito próximos da neutralidade. Na safra 2021/22 os Estados Unidos produziram em excesso cerca de 65,8 milhões de toneladas de milho, no Brasil foram 44 milhões de toneladas, e na Ucrânia cerca de 31,2 milhões de toneladas.

Aproximando a análise para o Brasil, pode-se notar na Figura 3, os principais estados que produzem cerca de 76,7% de todo o milho nacional são: Mato Grosso (MT), Paraná (PR), Mato Grosso do Sul (MS), Goiás (GO) e Minas Gerais (MG), enquanto o estado de São Paulo representa apenas 3,8% de todo o milho produzido na safra 2021/22 (“CONAB”, 2023).

**Figura 3 - Produção de Milho no Brasil (milhões de toneladas)**



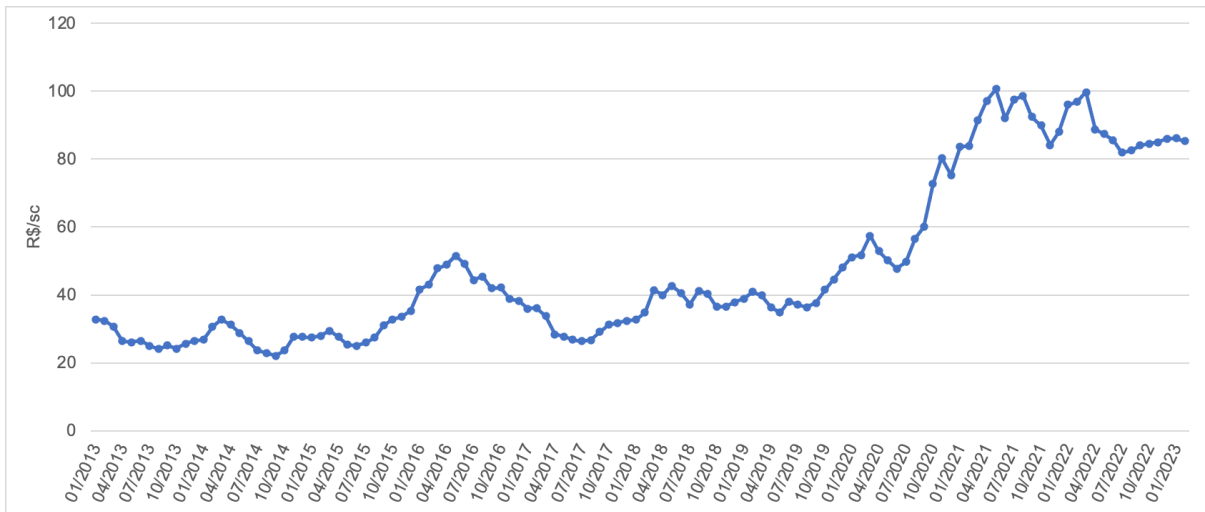
Fonte: Adaptada (CONAB, 2023)

Analisando os históricos de produção brasileira é interessante ressaltar o crescimento da cultura do milho no estado do Mato Grosso, o qual em 1999/2000 havia uma participação de apenas 4,6% e atualmente apresenta uma participação de 36,7% (cerca de 41,6 milhões de toneladas) do milho nacional, movimento parecido com o do Mato Grosso do Sul, que havia uma participação de 3,8% e chega à 10,7% no mesmo período (CONAB, 2023). Entretanto, outros estados apresentaram movimento contrário, como no caso de Minas Gerais e São Paulo que apresentaram uma participação decrescente ao longo das últimas 2 décadas.

Desenvolvendo um estudo sobre os preços do milho no mercado, é necessário compreender que o milho é uma *commodity*, dessa forma a precificação da saca (1 saca = 60 kg de milho) está sujeita às variações dos mercados internacionais, como a produção dos principais *players* do mercado como citados anteriormente e da relação cambial entre o dólar americano e o real brasileiro. A partir da Figura 4 é possível visualizar o preço histórico do milho (R\$/saca), e nota-se que nos últimos anos houve um crescimento elevado do preço da saca, impulsionado pela guerra entre Rússia e Ucrânia em 2021, sendo a Ucrânia um dos maiores fornecedores mundiais.



**Figura 4 - Preço Mensal Histórico do Milho (R\$/saca)**



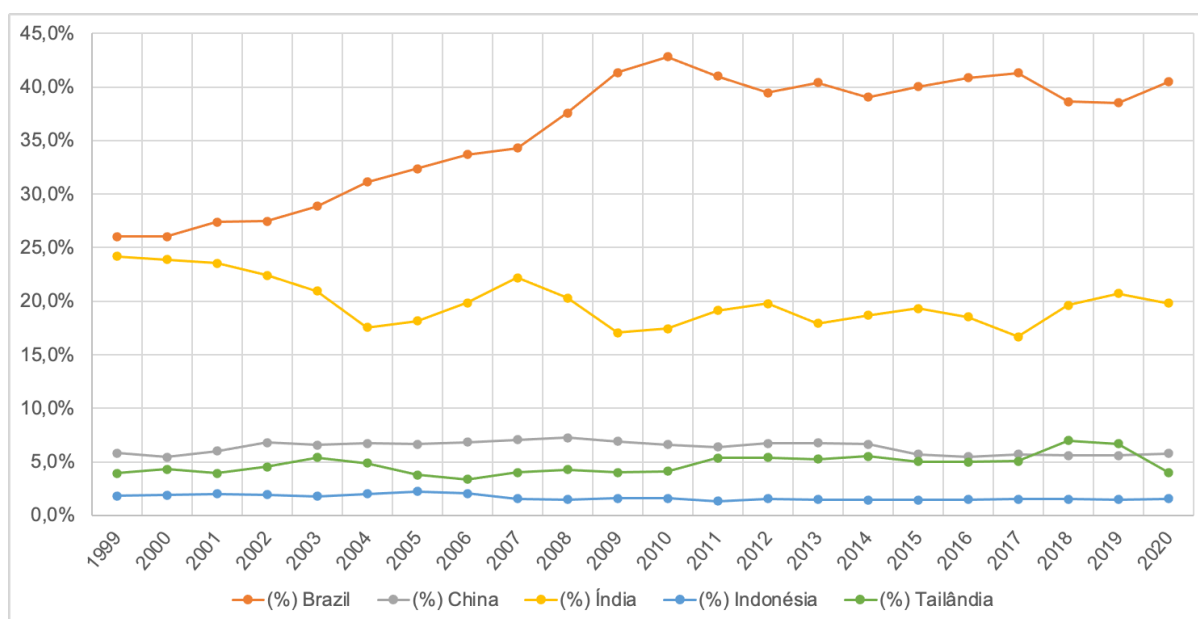
Fonte: Adaptado (CEPEA-Esalq/USP, 2023)

### 3.2.2 HISTÓRICO CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar é uma cultura de grande importância econômica e histórica para o Brasil. Introduzida no país no século XVI, ela se tornou rapidamente a principal fonte de renda devido à sua utilização na produção de açúcar, cuja demanda era alta na Europa na época. Além disso, a cana-de-açúcar foi fundamental para a formação da economia brasileira. Hoje em dia, ela é uma importante fonte de emprego e renda em diversas regiões do Brasil e é utilizada na produção de açúcar, etanol e energia.

Utilizando a Figura 5 é possível visualizar os principais produtores de cana-de-açúcar desde 2000 e suas participações (%), sendo eles Brasil, Índia, China e Tailândia, respectivamente (FAOSTAT, 2023). Interessante ressaltar que o Brasil em 2000 apresentava uma produção de 326,1 milhões de toneladas de cana, cerca de 26% da produção mundial, e no ano de 2020 produziu 757 milhões de toneladas, representando 40,5% de toda a cana-de-açúcar produzida, demonstrando o interesse brasileiro no desenvolvimento desta cultura.

**Figura 5 - Principais Países na Produção de Cana-de-açúcar (%)**

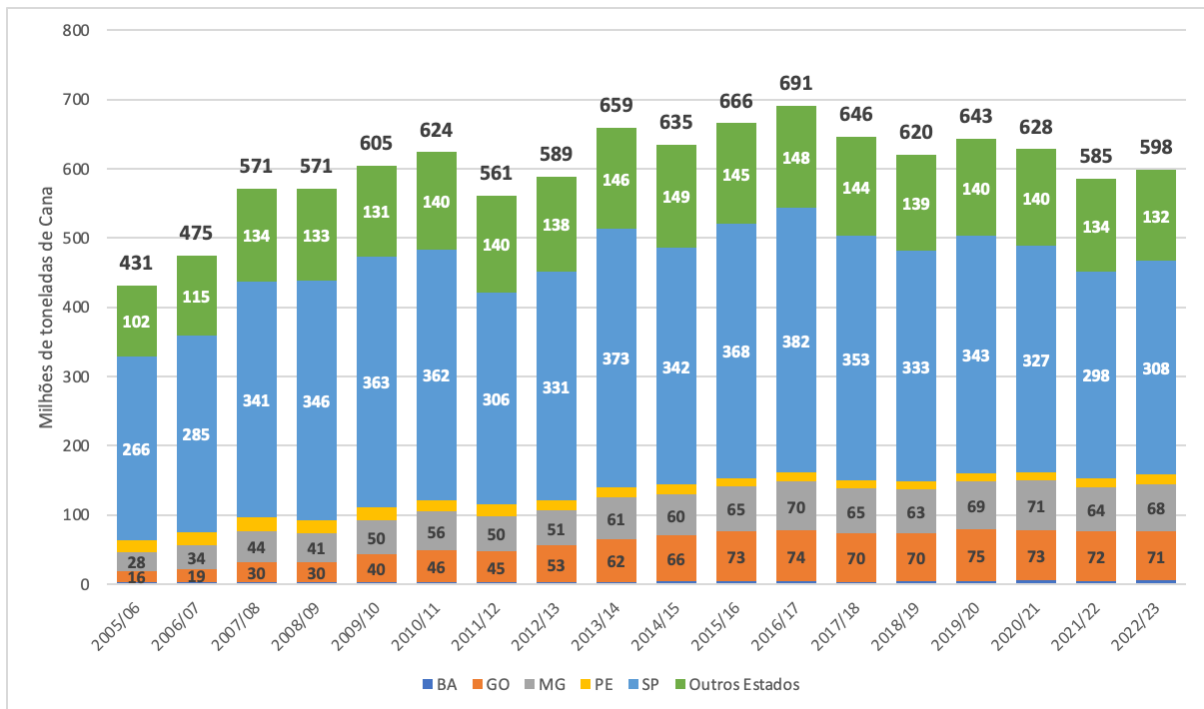


Fonte: Adaptada (FAOSTAT, 2023)

Este interesse brasileiro foi incentivado principalmente pelo Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL), o qual foi criado com o intuito de reduzir a dependência do Brasil do petróleo e do mercado externo devido a crises nos anos da ditadura (ANDRADE; CARVALHO; SOUZA, 2010). Dessa forma, houve uma grande expansão do cultivo da cana no solo brasileiro, principalmente no estado de São Paulo, o maior consumidor de combustíveis do país.

A partir da Figura 6 compreende-se a situação do cultivo de cana-de-açúcar no Brasil (CONAB, 2023), como citado anteriormente o estado com maior participação é São Paulo, sendo este responsável por 51% de toda a cana produzida no Brasil na safra 2021/22. Interessante ressaltar o crescimento e expansão na cana nos últimos anos no estado de Goiás e em Minas Gerais, devido a presença e expansão das usinas de açúcar e etanol provenientes da cana-de-açúcar.

**Figura 6 - Produção Histórica de Cana-de-Açúcar no Brasil**



Fonte: Adaptada (CONAB, 2023)

Diferente do milho, a cana-de-açúcar apresenta um modelo de precificação distinto principalmente no Brasil que é o maior produtor dessa cultura, enquanto o milho apresenta diversas aplicações e consegue ser comercializado em longas distâncias, a cana apresenta limitações quanto às distâncias que podem ser percorridas, dessa forma o preço do milho segue a lógica internacional de *commodities*, no caso da cana-de-açúcar o preço é uma relação entre o custo de produção e a produtividade por hectare que cada região apresenta.

Como o milho apresenta distintas finalidades, há sempre diversos fatores que estabelecem a demanda de milho internacionalmente, assim o produtor de milho apresenta diversas opções para obter o melhor preço para seu produto, sendo possível comercializar para usinas ao redor, fornecer para produtoras de alimentos humanos e animais, ou dependendo das condições de preços internacionais, exportar o produto.

A cana-de-açúcar apresenta algumas limitações para comercialização, pois não existe a possibilidade de secar o produto, uma vez que ao realizar este processo se perde boa parte da sua matéria orgânica e conseqüentemente a produtividade. Assim, o consumo de cana-de-açúcar fica limitado a uma determinada quilometragem, caso contrário se perde a qualidade do produto (FRANÇOSO et al.,

2017).

### **3.3 ANÁLISE DE SAFRAS E PRODUTIVIDADE**

#### **3.3.1 SAFRAS E PRODUTIVIDADE MILHO**

A safra de milho é um aspecto importante durante a análise, especialmente na agricultura brasileira, pois o milho é uma das culturas mais cultivadas e consumidas no país como apresentado anteriormente. O desempenho da safra pode ser influenciada por uma série de fatores, como o clima, a disponibilidade de água, a qualidade do solo, a tecnologia utilizada e a demanda de mercado. Porém, a análise irá se restringir aos períodos do ano em que ocorre a safra do milho, assim como a produtividade que cada hectare consegue produzir, a partir de dados históricos.

O milho pode ser plantado e colhido em diversos períodos no ano aqui no Brasil (SANCHES; ALVES, 2018), observando a lógica de plantio no maior produtor de milho do Brasil, o Mato Grosso, há a possibilidade de produzir na primeira safra, no qual o plantio ocorre nos meses de outubro, novembro e dezembro, ou seja, durante a primavera, e a colheita ocorre nos meses de fevereiro, março, abril e maio, entre o verão e o outono.

Entretanto, esta não é a única possibilidade de cultivo, inclusive sendo a mais comum é a segunda safra ou “safrinha”, na qual há o plantio nos meses de janeiro, fevereiro e março, e a colheita no outono e inverno, nos meses de maio, junho, julho e agosto. Esta metodologia é a mais aplicada no Brasil pois o período da “safrinha” não entra em conflito com outros plantios de extrema importância para economia brasileira, como a soja, assim no período entre safras da soja o cultivo do milho é utilizado com uma forma de melhorar as condições do solo com uma rotação de culturas, e ter uma fonte de renda aos produtores rurais nos meses em que não haveriam produção.

Analisando a Tabela 2 pode-se visualizar os períodos de safra e “safrinha” do milho, utilizando como base o Mato Grosso (SANCHES; ALVES, 2018). Na Figura 7 (CONAB, 2023) nota-se que nas últimas safras a participação da safrinha na produção de milho no MT aumentou significativamente, fazendo com que a maior parte da produção, não só no estado como no Brasil, esteja concentrada no período entre safras (ou “safrinhas”).

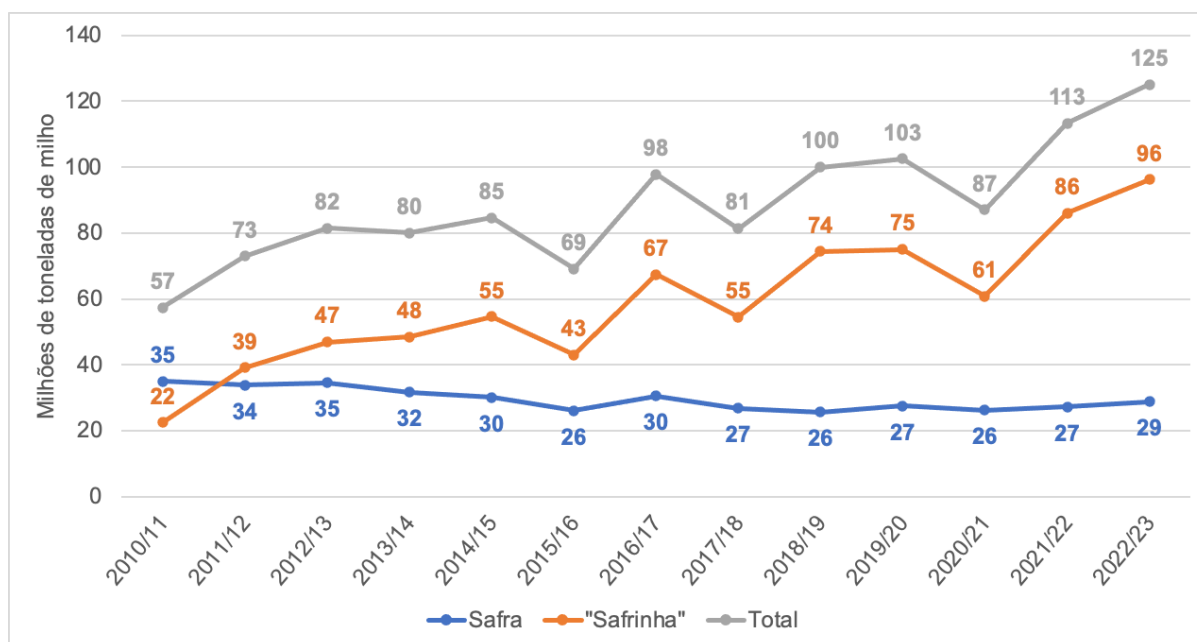
**Tabela 2 - Períodos de Plantio e Colheita de Milho no Mato Grosso**

-	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
<b>Safra</b>		C	C	C	C	C				P	P	P
<b>"Safrinha"</b>	P	P	P		C	C	C	C				

P = plantio, e C = colheita

Fontes: Adaptado (SANCHES; ALVES, 2018)

**Figura 7 - Produção Histórica do Milho de Primeira e Segunda Safra no Brasil**

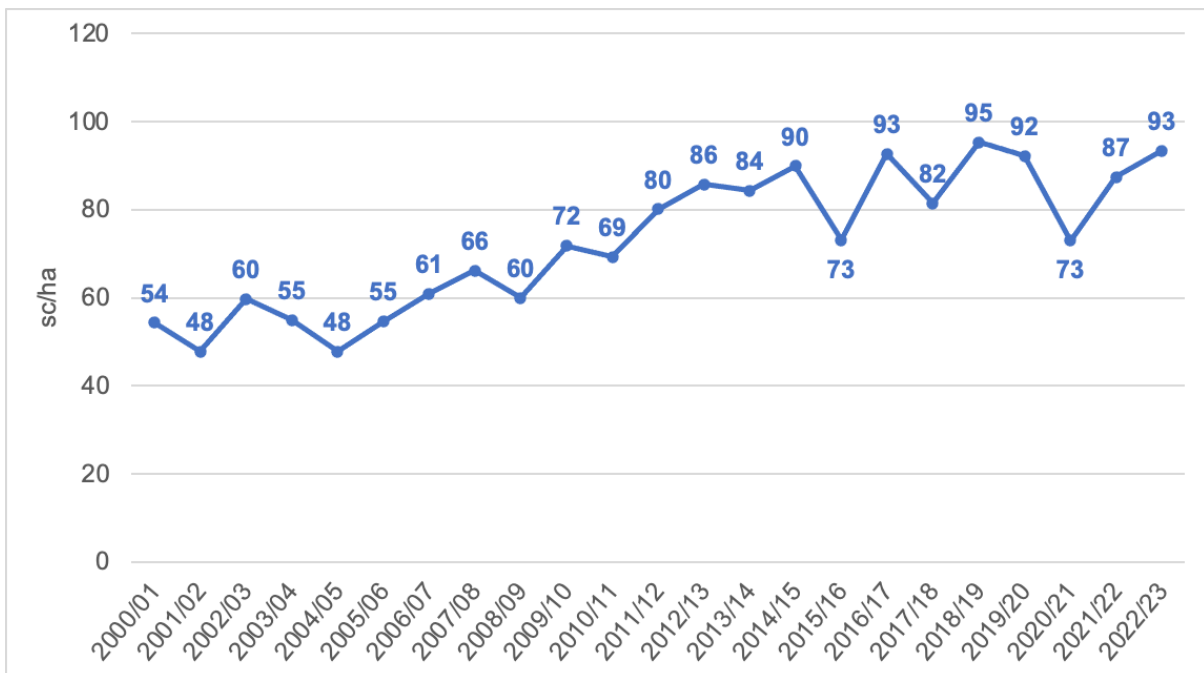


Fonte: Adaptada (CONAB, 2023)

Além da compreensão dos períodos de safra do milho, é interessante discorrer sobre a produtividade que uma determinada área consegue produzir de milho, pois uma vez determinado o volume de interesse de produção de etanol a partir do milho, deve-se calcular a quantidade de milho que deve ser processado e consequentemente a área necessária para o plantio deste volume.

A partir da Figura 8, nota-se que historicamente a produtividade brasileira vem aumentando ao longo dos anos (CONAB, 2023), fato que acompanha o desenvolvimento tecnologia de plantio e colheita, assim como uso de insumos, fertilizantes, bioinsumos e entre outros produtos buscando a melhoria da qualidade e rendimento da área aplicada, apesar de apresentar anos de queda, devido aos anos de seca. Mensurando as últimas 10 safras, há uma produção média de 85,05 sacas/ha, ou seja, cerca de 5,1 toneladas de milho por hectare.

**Figura 8 - Produtividade Histórica de Milho no Brasil**



Fonte: Adaptado (CONAB, 2023)

### 3.3.2 SAFRAS E PRODUTIVIDADE CANA-DE-AÇÚCAR

A safra da cana-de-açúcar se diferencia em diversos aspectos à de milho, primeiro ponto que pode ser discutido é a necessidade de plantio, pois o milho apresenta um ciclo anual ou cultura temporária, no qual após a colheita é necessário realizar o plantio novamente para próxima safra, entretanto, no caso da cana há a possibilidade de diversos cortes. Assim após um plantio em um ano, é possível se ter cerca de 5 à 7 cortes do canavial dependendo da sua produtividade, pois com o avançar das safras há um decaimento de produtividade por hectare devido a idade do canavial (ROSSI; BERNARDES, [s.d.]).

Por essa característica da cana já há uma grande diferença das culturas, assim não apresentando um período específico para colheita, podendo perdurar entre os meses de abril e dezembro, e no caso do plantio entre os meses de janeiro e março na região Centro-Oeste brasileira, responsável por mais de 80% de toda produção de cana-de-açúcar no Brasil de acordo com os dados fornecidos pela CONAB em 2023, como representado pela Tabela 3.

**Tabela 3 - Períodos de Plantio e Colheita de Cana no Centro-Oeste do Brasil**

-	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Safra	P	P	P	C	C	C	C	C	C	C	C	C

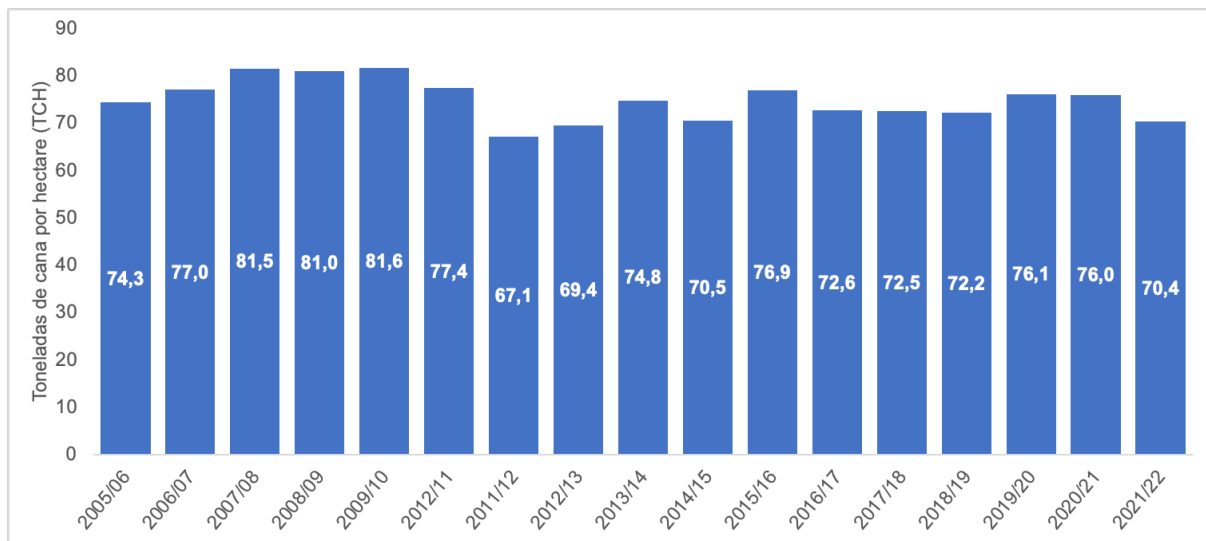
Fontes: Adaptado (UNICA, 2023)

Outro ponto crucial para o desenvolvimento de um projeto com a cana-de-açúcar é a produtividade. Como o Brasil apresenta grande produção de milho o fornecimento como matéria-prima não é uma preocupação, porém esta lógica não se aplica para a cana-de-açúcar, uma vez que a cultura da cana gira em torno das usinas que as consomem, não há produção excedente e não é possível comprar de regiões muito distantes pois há perda de qualidade da cana.

No caso da construção uma nova usina de cana há poucas possibilidades para obtenção da matéria-prima, como adquirir terra por meio de compra ou arrendamento de terras de terceiros e iniciar o cultivo da cana-de-açúcar. Porém, devido as características do cultivo da cana é necessário realizar uma rampa de plantio para manter o fornecimento de cana constante, pois caso haja o investimento para plantar em toda área no primeiro ano haverá um grande fornecimento inicialmente, porém ao decorrer dos cortes da cana há uma perda de produtividade (ROSSI; BERNARDES, [s.d.]) e poderá faltar matéria-prima para a usina.

Outra solução para o fornecimento de cana-de-açúcar, seria arrendar terras que já apresentam produção de cana-de-açúcar para outros fornecedores, entretanto o ponto negativo deste posicionamento é o prêmio que deve ser pago ao dono da terra, pois para abandonar o(a) parceiro(a) seria necessário aumentar o preço pago pelo arrendamento já realizado para fazer sentido financeiramente para o dono da terra. Por isso, essa abordagem é mais arriscada.

**Figura 9 - Produtividade Histórica da Cana-de-Açúcar no Brasil**



Fonte: Adaptada (UNICA, 2023)

Analisando a Figura 9 é possível notar que a produtividade da cana-de-açúcar no Brasil não houve grande crescimento ao contrário da cultura do milho, isso pode ser explicado devido a cultura da cana no Brasil estar há mais tempo presente do que a do milho, principalmente por causa da segunda safra (“safrinha”). Necessário ressaltar que a média elaborada é histórica e considerando todos os locais de produção no Brasil, ou seja, em regiões onde o solo é mais propenso, como no estado de São Paulo, a produtividade fica acima da média brasileira, a mesma lógica pode ser aplicada para o Mato Grosso no caso da cultura do milho.

Utilizando uma média dos últimos 10 anos da cana, a produtividade brasileira é de cerca de 72,6 toneladas de cana por hectare (TCH), média esta mais elevada do que os 5,1 ton/ha de milho representado na Figura 8. Assim, demonstrando a vantagem de biomassa por hectare que a cana-de-açúcar apresenta.

### **3.4 ANÁLISE BIOQUÍMICA**

#### **3.4.1 COMPOSIÇÃO E SECAGEM DO MILHO**

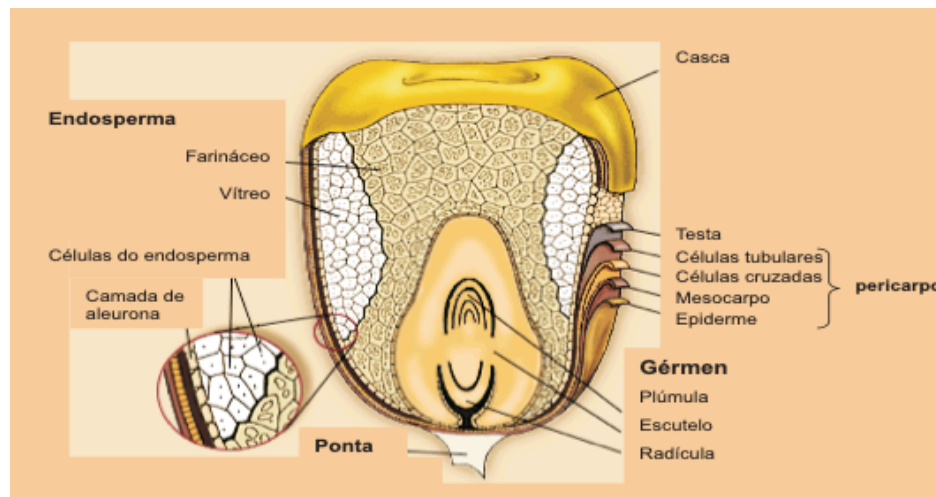
A semente de milho é composta por quatro partes principais: endosperma, pericarpo, gérmen e a ponta. O endosperma é a camada de tecido nutriente que rodeia o gérmen ou embrião, responsável por fornecer energia, água e nutrientes à nova planta durante a germinação. Representando cerca de 82% da massa em base



seca do grão, e consiste principalmente de amido (88%) e proteínas (8%), sendo o endosperma a parte principal da semente que se deseja conservar para o processo de produção do etanol a partir do amido.

O gérmen é a parte da semente que irá germinar e se desenvolver em uma nova planta, representando 11% de massa em base seca da semente de milho, é composto principalmente por lipídios, minerais e açúcares.

**Figura 10 - Anatomia do Grão de Milho**



Fonte: (PAES, 2006)

O pericarpo é a casca externa da semente que a protege e mantém a umidade. Apresentando cerca de 5% base seca do grão, composta por fibras para aumentar sua resistência e dificultar a entrada e saída de compostos ao grão, consequentemente, mantendo sua umidade e estrutura.

Esta estrutura é fundamental para o desenvolvimento e germinação da semente. Sem o endosperma, o embrião não teria energia suficiente para germinar e sem o pericarpo, a semente seria suscetível a danos por insetos ou doenças. Além disso, o pericarpo também ajuda a controlar a taxa de evaporação da água da semente, mantendo-a úmida o suficiente para germinar.

Por fim, a ponte representa apenas 2% do grão em base seca, sendo a parte que conecta o grão de milho com o sabugo ou espiga, tendo como composição material lignocelulósico.

O milho ao ser colhido apresenta cerca de 24-26% de umidade em base úmida, entretanto para armazenamento recomenda-se 15% de umidade (PORTELLA; EICHELBERGER; 2001), dessa forma sendo necessário a realização de secagem do

grão para manter suas propriedades e possibilitar o transporte sem grandes perdas. Com alta umidade no grão há um baixo TPA (Tempo Permissível de Armazenagem), com 24% b.u. o TPA recomendado é de cerca de 6 dias, enquanto em faixas de umidade de 16% o tempo se estende para 78 dias, no caso de grãos à temperatura de 22°C.

A secagem do milho pode ser realizada de duas formas: natural e artificial, no Brasil é comumente aplicado o processo de secagem natural, no qual os grãos são espalhados em uma grande área aberta, com o calor e iluminação solar ocorre o processo de redução da umidade das sementes, e posteriormente recolhidas para armazenagem (PORTELLA; EICHELBERGER; 2001). Este método apresenta baixo custo ao produtor, entretanto o milho fica exposto ao ambiente e em locais de altas temperaturas podendo afetar a qualidade do grão após o processo, além de ficar exposto a pragas, fungos e animais presentes na região do cultivo.

A secagem artificial apresenta diversos processos possíveis. O sistema de secagem com ventilação natural, as espigas são penduradas em telas (paiol de tela) como apresentado na Figura 11, apresentando custo baixo, protegendo o milho de animais, insetos e de invernos mais rigorosos na região Sul do país. Entretanto, a sua aplicação em larga escala é dificultada pois necessita de grandes áreas e mão-de-obra.

**Figura 11 - Paiol de Tela (secagem do milho)**



Outro processo comumente aplicado, é a utilização de silos (Figura 12) que apresentam um ventilador em sua base com um fundo perfurado, permitindo a entrada de ar pela base a sua saída pelo topo podendo apresentar um agito mínimo dos grãos, esta técnica é muito utilizada para secagem em escala comercial. Como vantagem este método está a possibilidade de baixo manuseio do produto e utilização de ar à temperatura ambiente, que ao final da secagem proporciona uma melhor

qualidade do produto.

**Figura 12 - Silos de Secagem de Milho**



Fonte: (Revista Campo & Negócios, 2021)

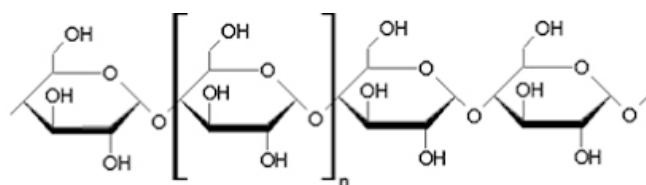
No caso do milho com alta umidade, pode-se utilizar o processo de secagem com altas temperaturas, havendo um aquecimento prévio do ar de entrada, não sendo recomendado uma temperatura de entrada maior que 40°C, assim possibilitando um menor tempo de secagem comparado ao processo com temperatura ambiente.

A decisão de qual processo de secagem deve ser utilizado depende de diversos fatores, variando de cada região, clima, espécie produzida, condições econômicas e de espaço, além da finalidade do produto final, se será destinado às usinas de etanol de milho os contratos especificam a umidade desejada, enquanto para o consumo humano há outras especificações.

### 3.4.2 PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DO AMIDO

Como citado anteriormente o milho é uma grande fonte de amido ( $[(C_6H_{11}O_5)_n]$ ), apresentando cerca de 88% de base seca do endosperma da semente. O amido é um polímero formado por grandes cadeias de moléculas de glicose ( $C_6H_{12}O_6$ ) ligadas por ligações de hidrogênio, como representado na Figura 13.

**Figura 13 - Composição Química do Amido**

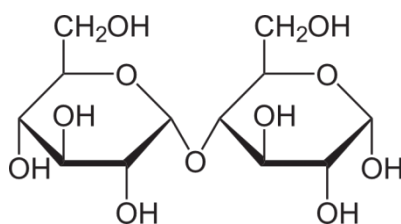


Fonte: (FOGAÇA, 2023)

Dessa forma, para a produção do etanol, o polissacarídeo deve ser quebrado em monossacarídeos para o processo de fermentação, formando moléculas de glicose. Para isto, o amido passa pela etapa de liquefação (SOUZA, 2014), na qual ocorre a hidrólise enzimática, com a adição de água (H<sub>2</sub>O) e enzimas com a função de catalisador do processo, sendo usadas a alfa-amilase e beta-amilase. A alfa-amilase catalisa a reação do amido com a água, quebrando as ligações e separando os monossacarídeos dos amidos com ligações glicosídicas alfa ( $\alpha$ ).

A beta-amilase é utilizada na quebra dos polissacarídeos que apresentam ligação glicosídicas beta ( $\beta$ ), quebrando o polissacarídeo em dissacarídeos chamados de maltose. Após a separação das maltoses há a etapa de sacarificação, onde ocorre também hidrólise enzimática, porém com a enzima gluco-amilase, que assim como a alfa-amilase realiza quebra das ligações do dissacarídeo formando dois monossacarídeos, as glicoses.

**Figura 14 - Molécula de Maltose**



Fonte: (REZENDE, [s.d.] )

Posterior aos processos de liquefação e sacarificação, ocorre a fermentação alcoólica (PACHECO, 2010), na qual uma molécula de glicose é convertida em duas moléculas de ácido pirúvico (C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O<sub>3</sub>) pelo processo de desidrogenação formando também duas moléculas NAD (Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo) carregando dois átomos de hidrogênio cada. Em seguida, os ácidos pirúvicos são transformados em aldeídos acéticos ou acetaldeído (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O) por um processo de descarboxilação, que libera duas moléculas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

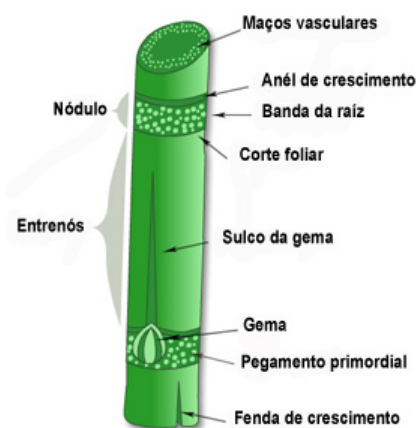
Por fim, as moléculas de acetaldeído recebem os hidrogênios transportados pelas moléculas de NAD, formando duas moléculas do álcool etílico ou etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH). Ao final, o processo de fermentação estequiométrico pode formar 0,5114 g de etanol a partir de 1 g de hexose caso a conversão fosse de 100%, porém, na prática há um rendimento entre 80-90% da massa de etanol (LOPES; GABRIEL; BORGES, 2011).

### 3.4.3 COMPOSIÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Para o estudo da composição da cana-de-açúcar é importante ressaltar a diferença da análise do milho, pois para a produção de etanol de milho o interesse é a composição da semente e principalmente do endosperma que apresenta a maior concentração de amido. No caso da cana-de-açúcar, é necessário entender a morfologia da cana, pois o interesse está na planta e não na semente.

A morfologia da cana pode ser subdividida na parte aérea e subterrânea (DA SILVA; DA SILVA, 2012), a parte aérea contém o colmo, folhas, inflorescência e frutos, e a parte subterrânea apresenta as raízes e rizomas da cana-de-açúcar. O colmo contempla os nós e entrenós da cana, como apresentado na Figura 15, sendo esta parte responsável por armazenar a maior parte da massa da planta, apresentando principalmente fibras, água e sacarose, de interesse para o processo produtivo de etanol.

**Figura 15 - Nós e Entrenós da Cana-de-Açúcar**



Fonte: (MAGRO et al., 2011)

Os nós são de extrema importância para o cultivo e cultura da cana, uma vez que contêm as gemas e o anel de crescimento, as gemas são responsáveis pela geração de novos colmos, muito utilizado para a geração de brotos antes do plantio nos períodos de reforma do canavial ou renovação.

As raízes são fasciculadas e podem chegar até a 4 metros de profundidade dependendo da espécie e do clima do plantio, entretanto cerca de 60% delas se encontram entre 20-30 cm, e 85% nos primeiros 50 centímetros de profundidade.

Analisando a questão da armazenagem ou conservação da cana-de-açúcar, segundo (OLIVEIRA et al., 1999) duas espécies de canas foram analisadas e a partir do terceiro dia de conservação, ambas as espécies apresentaram perdas significativas após o terceiro dia de armazenamento, e recomenda-se que após o corte, a cana-de-açúcar pode ser armazenada de 4 à 5 dias. Após o período ambas as espécies apresentaram grande perda de sacarose e, conseqüentemente, na produtividade da cana.

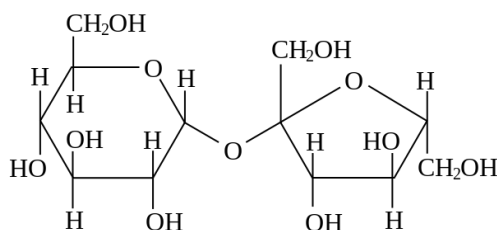
Outra questão que dificulta a armazenagem da cana-de-açúcar é o aumento de acidez, isso ocorre devido a presença de microrganismo no canavial, e após o corte da cana há um aumento significativo dos microrganismos presentes que consomem a sacarose presente na cana, assim reduzindo o material disponível para a próxima etapa de processamento.

#### 3.4.4 PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DA SACAROSE

O processo de produção de etanol a partir da sacarose proveniente da cana-de-açúcar se assemelha em alguns aspectos ao processamento do amido, porém a etapa de separação e seleção das moléculas de glicose se diferencia do polissacarídeo do amido.

A molécula de sacarose ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ), como apresentada na Figura 16, é um dissacarídeo formado por dois monossacarídeos, a glicose ( $C_6H_{12}O_6$ ) e a frutose ( $C_6H_{12}O_6$ ), ligados por uma ligação glicosídica.

**Figura 16 - Molécula de Sacarose**



Fonte: (CARDOSO, [s.d.])

Dessa forma, a primeira etapa do processo é de quebra da ligação glicosídica para separar os monossacarídeos pelo processo de hidrólise na etapa de sacarificação, com acréscimo de água ( $H_2O$ ) e a enzima sacarase ou invertase que tem como papel de catalisador da reação (SILVEIRA, 2016).

Após a etapa de sacarificação há duas moléculas de hexose (frutose e glicose), e para a formação do etanol as hexoses passam pelo processo de fermentação alcoólica como descrito no Tópico 3.4.2. Por fim, são formadas duas moléculas de etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) e duas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para cada hexose, dessa forma com apenas uma molécula de sacarose, pode-se formar até 4 moléculas de álcool etílico.

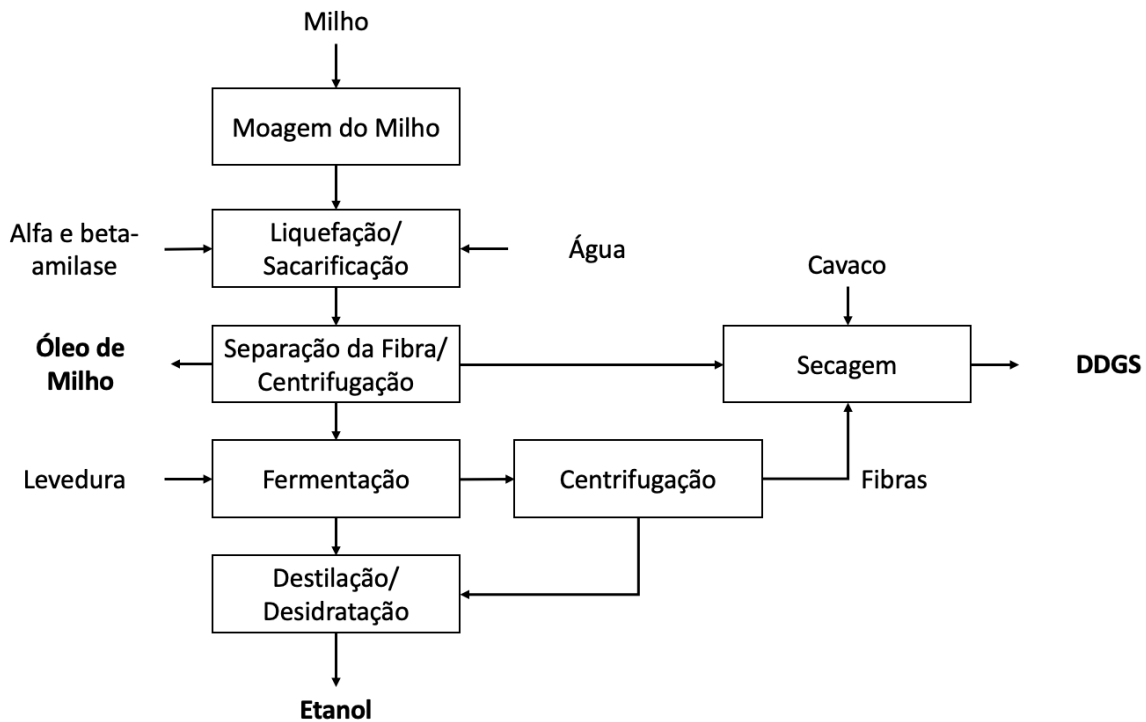
### **3.5 FLUXOGRAMAS**

#### **3.5.1 PLANTA ETANOL DE MILHO**

Como apresentado anteriormente, cada fonte de biomassa requer um processo de produção específico para se obter o etanol, que é um álcool utilizado como combustível em motores de veículos, geradores elétricos, entre outros.

O processo de produção de etanol a partir do milho é um dos mais utilizados em todo o mundo, especialmente nos Estados Unidos, onde a produção de etanol de milho é uma indústria consolidada. Esse processo começa com a moagem do milho, que é triturado em pequenos pedaços para facilitar o processo de cozimento e aumentar a superfície de contato. O cozimento ocorre para facilitar a quebra dos polissacarídeos na próxima etapa de hidrólise, realizando a liquefação. O milho é misturado com água para formação de um mosto e enzimas, como alfa-amilase e beta-amilase, que quebram os amidos do milho em monossacarídeos (SALLA; CABELLO, 2010).

**Figura 17 - Fluxograma Usina de Etanol de Milho**



Fonte: Adaptada (SILVA et al., 2021)

O processo de quebra de amidos em açúcares é um dos pontos cruciais da produção de etanol a partir do milho, pois os açúcares serão posteriormente fermentados pelas leveduras, dando origem ao etanol. Porém, entre a etapa de hidrólise e fermentação é possível realizar a separação do óleo de milho caso seja de interesse de produção, o óleo pode ser separado utilizando centrífugas purificadoras, há uma preferência por realizar a separação do óleo antes da fermentação devido o controle de acidez que pode apresentar, o qual resultaria em um produto de menor qualidade e, conseqüentemente, menor valor agregado.

Junto às centrífugas é possível separar uma parte das fibras que serão destinadas a outro coproduto, o DDGS (*Dry Distiller's Grains with Solubles*) que apresenta grande composição de proteínas e fibras do milho, porém ao sair da centrífugas o produto é conhecido como WDGS (*Wet Distiller's Grains with Solubles*), o qual não apresenta grande valor para o mercado devido a sua difícil comercialização, assim sendo necessário passar por um secador para formação de DDGS. A separação de parte das fibras antes do processo de fermentação contribui para o menor risco de infecções, aumentar o rendimento fermentativo, reduzir o uso de insumos.



Após a retirada do óleo e de parte das proteínas da mistura, ocorre o processo de fermentação. O processo de fermentação é realizado em tanques de aço inoxidável, que são agitados para manter as leveduras em suspensão e garantir uma fermentação homogênea. Nesta etapa, a fermentação dura entre 45 e 50 horas dependendo do tamanho do tanque e das condições da matéria-prima inserida no processo. Para que a fermentação ocorra, há a adição de um fungo, sendo o *Saccharomyces cerevisiae* o mais aplicado para estes processos (BARROS, 2021).

Durante a fermentação, os açúcares são transformados em etanol e dióxido de carbono. Para garantir a homogeneidade da fermentação, os tanques de fermentação são agitados para manter as leveduras em suspensão e em contato com a solução açucarada. É importante que as leveduras estejam em contato com os açúcares para que possam realizar a fermentação corretamente e produzir o etanol desejado.

Em seguida a mistura é encaminhada para a destilação, no qual haverá a seleção do etanol, que sai do processo de fermentação com teor alcoólico de 15-18% v/v, ainda apresentando 76% de água e 6-9% de sólidos (SILVA et al., 2021), podendo haver variação se o processo apresenta ou não a etapa de centrifugação anteriormente à fermentação.

Na etapa de destilação, busca-se aumentar a concentração de álcool no fluido para buscar especificações de comercialização, dependendo de sua aplicação. Assim, a água e os sólidos são retirados ao aquecer a mistura, o álcool e a água são retirados por cima da primeira coluna, os sólidos saem pastosos recebendo o nome de vinhaça grossa na parte inferior desta coluna. Em seguida, o vapor segue para uma segunda coluna de destilação, também chamada de coluna de retificação, na qual haverá a separação do álcool, por cima da coluna, da água, por baixo da coluna.

A vinhaça grossa é utilizada para a produção de DDGS, entretanto esta vinhaça apresenta cerca de 65% de umidade, assim sendo necessário passar por um processo de secagem para retirada da água e sobrar apenas as fibras do processo, a secagem é normalmente realizada a partir de vapor de água com aquecimento a partir da queima de alguma fonte, como por exemplo o uso do cavaco de madeira.

O DDGS trata-se de um concentrado proteico rico em nutrientes que é utilizado na alimentação de animais de diversas espécies, como bovinos, suínos e aves. A utilização do DDGS tem sido uma prática sustentável e econômica, pois permite a utilização integral do milho na produção de etanol e reduz a necessidade de outras

fontes de alimentos para animais.

O óleo de milho é um subproduto da produção de etanol a partir do milho, que também pode ser utilizado em diversos setores. Uma das principais aplicações do óleo de milho é na indústria alimentícia, como ingrediente para a fabricação de margarinas, maioneses, biscoitos e outros produtos alimentícios. Além disso, o óleo de milho também é utilizado na produção de biodiesel, que é um biocombustível renovável que pode ser utilizado em motores de veículos. A utilização do óleo de milho na produção de biodiesel tem sido uma prática cada vez mais comum, pois é uma fonte de energia renovável e pode ajudar a reduzir a dependência de combustíveis fósseis.

Entretanto um ponto de extrema importância ao compararmos a produção de etanol a partir do milho com a cana-de-açúcar é a produtividade que uma tonelada de matéria-prima consegue render de etanol e também seus coprodutos. De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (GASQUES et al., 2022), uma tonelada de milho é capaz de produzir 420 L de etanol, 18 L de óleo de milho e 300 kg de DDGS.

**Tabela 4 - Produtividade Etanol de Milho**

Moagem		
1 tonelada de milho		
Possível produzir (=)		
420 L de etanol	18 L de óleo de Milho	300 kg de DDGS

Fonte: Adaptada (GASQUES et al., 2022)

A questão ambiental para um projeto de etanol proveniente do milho deve ser considerada na análise, uma vez que comparada ao processo da cana-de-açúcar apresenta pontos que se destacam. O processo de produção de etanol de milho apresenta quase o dobro de emissões potenciais (DONKE, 2016), cerca de 1.650 kg de CO<sub>2</sub> para cada m<sup>3</sup> produzido de etanol, enquanto o etanol de cana-de-açúcar apresenta emissões de 456 kg de CO<sub>2</sub>. As emissões da cana-de-açúcar são consideravelmente menores devido ao cultivo da cana comparada ao milho e pelo transporte da matéria-prima até as usinas, uma vez que a cana precisa percorrer menores distâncias para não perder a sua qualidade, o milho devido a possibilidade de secagem pode percorrer grandes distâncias, assim aumentando o consumo de

fontes não renováveis de energia e piorando os aspectos ambientais do projeto.

### **3.5.2 PLANTA ETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR**

O processo de produção de etanol utilizando como matéria-prima a cana-de-açúcar se diferencia do processo a partir do milho em alguns aspectos, um destes sendo a rota bioquímica de obtenção como apresentado anteriormente, entretanto há diferença no processamento inicial da matéria-prima até os produtos finais que podem ser obtidos, trazendo algumas vantagens quando compara-se com o milho, uma vez que além do etanol é possível realizar a produção de açúcar, assim diminuindo sua dependência e exposição econômica para o etanol.

Com a chegada da cana-de-açúcar na usina (LOPES; GABRIEL; BORGES, 2011), a matéria-prima passa por um processo de lavagem para retirada de impurezas provenientes da colheita em campo, como terra, areia, materiais metálicos, algumas pragas, entre outros. Na próxima etapa, a cana passa pelo processo de extração, na qual passará por uma sequência de moendas que irá triturar a cana e espremer para a retirada do caldo de cana rico em sacarídeos e açúcares.

Ao final do processo de moagem, o processo apresenta principalmente dois subprodutos, o caldo da cana e o bagaço que apresentam finalidades distintas no processo. O caldo de cana sendo rico em açúcares será destinado para a produção de etanol e/ou açúcar, entretanto o bagaço da cana é rico em fibras e pode ser utilizado para a produção de energia com a sua queima, dessa forma se diferenciando do milho, uma vez que a energia formada pela queima do bagaço em caldeiras pode ajudar no processo produtivo, reduzindo a dependência energética e possivelmente sendo autônoma e produzir energia excedente.

O caldo de cana retirado no processo de extração, antes de ser destinado a produção de etanol deve passar por um tratamento para retirada de partículas sólidas e impurezas que ficaram no fluido do processo anterior, assim o fluido é destinado as etapas de floculação, precipitação e decantação em tanques. Esta etapa de tratamento físico-químico do caldo busca ajustar diversos parâmetros para que o caldo possa apresentar melhor rendimento e concentração de sacarose, alguns parâmetros que são avaliados são: pH, turbidez, taxa de sedimentação, coloração, microrganismos presentes, e entre outros.

Após a última etapa de decantação há formação novamente de dois fluidos, o caldo de cana tratado e a torta de filtro, o caldo tratado será destinado para a produção de etanol, enquanto a torta de filtro é um lodo rico em fibras, microrganismos e minerais representando 10% do fluxo total do caldo que comumente são utilizados no processo de trato e plantio de solo como adubo, sendo mais um benefício para o processo e a unificação entre a usina e o canavial.

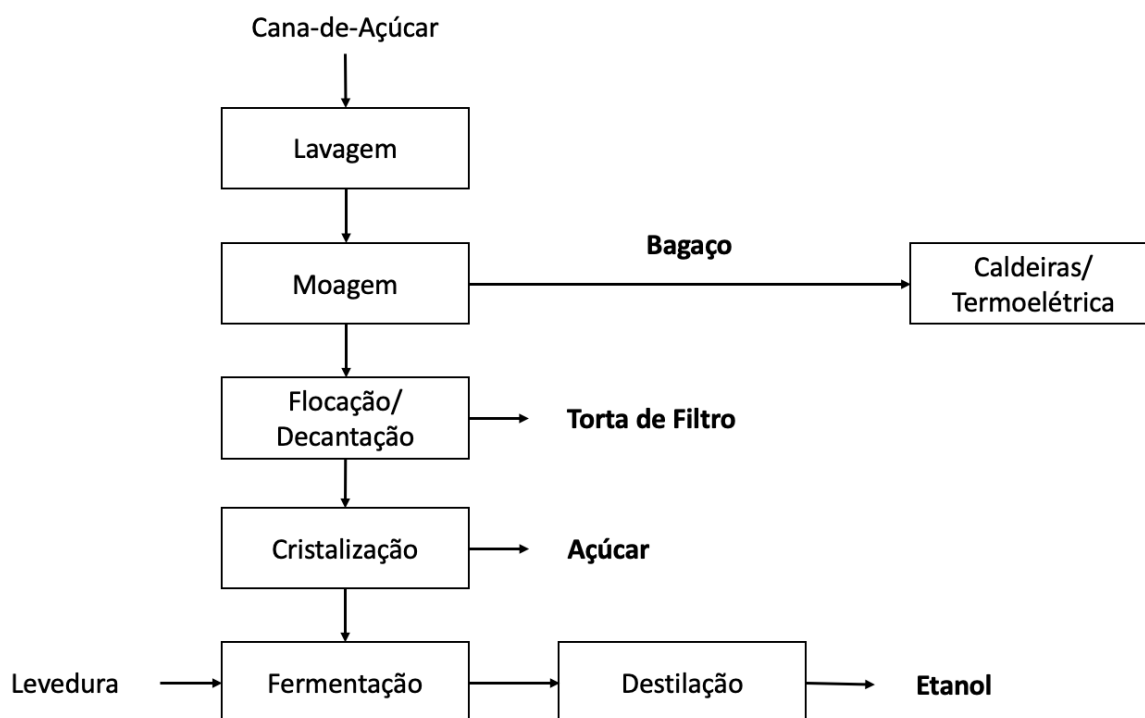
Com o caldo tratado, algumas destilarias utilizam o processo de evaporação do caldo com o intuito de retirar parte da água, matar eventuais microrganismos que possam ter sobrevivido do processo anterior e, conseqüentemente, concentrar para um xarope que será destinado à próxima etapa, porém as grandes usinas e as mais recentes acabam não utilizando essa etapa do processo (LOPES; GABRIEL; BORGES, 2011).

Após a decantação, caso a usina apresente a possibilidade de produção de açúcar, o caldo é destinado aos processos de cristalização e de cozimento, nos quais o caldo receberá um tratamento para formação de cristais de açúcar (cristalização) e por meio de uma centrífuga irá retirar o açúcar para tratamento e comercialização, enquanto forma-se também um xarope concentrado de glicose e frutose, este xarope recebe o nome de melaço, mel ou mosto, o qual será destinado para a etapa de fermentação.

Na etapa de fermentação, ao mosto é adicionado a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, a qual irá realizar a hidrólise dos dissacarídeos para formar as moléculas de sacarose e em seguida haverá a fermentação alcoólica que uma molécula de sacarose irá formar 2 de etanol e dióxido de carbono.

Por fim, a mistura ao final da fermentação é encaminhada para o processo de destilação, da mesma forma que o processo de etanol de milho realiza, assim separando e aumentando a concentração de etanol para comercialização dependendo da sua finalidade.

**Figura 18 - Fluxograma Etanol de Cana-de-Açúcar**



Fonte: Adaptado (LOPES; GABRIEL; BORGES, 2011)

Compilando as informações apresentadas, o processo de produção do etanol de cana-de-açúcar apresenta diversas flexibilidades e possibilidades de coprodutos. O bagaço da cana após a moagem pode ser utilizado para a produção de energia e alimentar a própria usina e suas necessidades, nos últimos anos outra funcionalidade está sendo atribuída para o bagaço, sendo esta a produção de etanol de segunda geração (E2G).

O E2G acaba utilizando outro processo de produção de etanol partindo da celulose presente nas fibras do bagaço, processo este distinto da matéria-prima amido e sacarose, além de apresentar uma maior produção de etanol a partir da mesma área. Entretanto, ao tomar a decisão de realizar a produção do E2G renuncia-se à produção de energia, assim podendo aumentar sua necessidade de compra de energia para alimentar o sistema.

Outro subproduto que há no processo de produção é a torta de filtro que apesar de não ser comercializada comumente, é um produto com grande aplicabilidade no canavial, reduzindo os custos com adubação.

Ao final, há um processo de decisão em uma usina de cana-de-açúcar, uma vez que é possível dar preferência à produção de açúcar ou à de etanol, assim, estrategicamente, é mais interessante ter a possibilidade de alteração de mix entre um mix açucareiro ou alcooleiro, pois a empresa não fica exposta apenas ao mercado de etanol, e dependendo dos preços do mercado há a possibilidade de alterar a produção.

A produtividade de etanol a partir da cana é de extrema importância para as comparações entre vantagens e desvantagens dos processos, enquanto uma tonelada de milho consegue produzir cerca de 420 L de etanol, a produtividade da cana é significativamente menor, uma tonelada de cana consegue produzir cerca de 80 L de etanol (PIOLI, 2022).

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

O presente trabalho foi realizado utilizando uma metodologia qualitativa de análise SWOT (LEITE; GASPAROTTO, 2018), utilizando como base diversos artigos acadêmicos, informações de mercado, dados fornecidos por órgãos públicos do Brasil e dos Estados Unidos, e entre outras fontes, com o intuito de realizar uma comparação entre as operações de uma usina de etanol de milho e de cana-de-açúcar. Comparando informações agrícolas, de mercado, físico-química, de engenharia química e logística, e segregando as informações a partir da metodologia selecionada.

A partir da análise SWOT foi possível alocar as principais características de cada processo apresentadas nas revisões bibliográficas nas categorias definidas da metodologia, assim subdividindo as características em 4 quadrantes de acordo com as definições de cada: Forças (S), Fraquezas (W), Oportunidades (O) e Ameaças (T). Ao final, foi possível construir a Matriz SWOT como uma forma de apresentar ambos os processos de uma forma visual e possibilitando melhor comparação.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 USINA DE ETANOL DE MILHO

Após a coleta de diversas fontes e informações sobre o processo produtivo de etanol a partir do milho, categorizou-se os principais pontos nas definições estabelecidas pelo método de Análise SWOT. Interpretando o ambiente interno e externo de uma planta de etanol, e os pontos que facilitam e dificultam a operação de um projeto. A análise foi feita considerando uma usina de etanol, desta forma o ambiente interno será considerado como a operação do processo produtivo, enquanto o ambiente externo são os pontos que afetam a produção, porém com uma visão macro do sistema.

Ao analisarmos a composição do milho, nota-se que a maioria do seu peso é proveniente da endosperma, apresentando grande concentração de amido que são polissacarídeos, conseqüentemente, devido às cadeias longas de sacarídeos a produção de etanol a partir da glicose (monossacarídeo) é mais produtiva, possível notar pela quantidade de álcool que é possível produzir com uma tonelada de milho, sendo de 420 L de etanol. A composição da matéria-prima no caso da planta de etanol de milho, pode ser considerada como uma Força (S) ao compararmos com a cana-de-açúcar.

Outra Força (S) que pode ser identificada no projeto de etanol de milho seria a maturação do projeto. Assumindo a construção de uma usina de etanol de milho e outra de etanol proveniente da cana-de-açúcar, normalmente projetos demoram cerca de 2 anos para construção, no terceiro ano a planta de milho apresenta uma vantagem pois pode comprar o milho e já operar em sua total capacidade. No caso do etanol de cana o tempo de maturação pode demorar cerca de 7 a 8 anos, isso se dá devido a produtividade do canavial e a forma da cultivo da cultura.

Enquanto o milho deve ser plantado e colhido em cerca de 1 ano, a cana-de-açúcar apresenta diversos cortes, sendo necessário o plantio uma vez e este consegue render de 5 a 7 cortes no Brasil, porém o primeiro corte é o que apresenta maior produtividade em toneladas de cana por hectare (TCH) e a produtividade decai ao longo dos cortes, dessa forma o ideal para um suprimento constante de cana para a usina seria um *ramp-up* de plantio para ter uma idade média do canavial de cerca de 3 a 4 anos.



Analisando o ambiente interno, mas como Fraquezas (W) para a usina de milho, há o consumo de energia para o processamento e secagem de coprodutos, como o DDGS, ao compararmos com a cana que tem seu bagaço como fonte de energia termoelétrica, tornando o processo mais sustentável. Outra questão ambiental que pode ser apostada como fraqueza para o milho seria a questão da secagem e logística do milho, pois para realizar a secagem, normalmente se utiliza cavaco ou madeira para queima, logicamente analisando há possibilidade de comprar o milho de locais mais distantes devido a sua durabilidade após seco, entretanto, este ponto positivo logístico acaba aumentando a emissão de carbono devido o transporte ser feito principalmente por caminhões com consumo de fontes não renováveis como o petróleo.

Outro ponto que pode ser apresentado como Fraqueza (W) do projeto é a competição da matéria-prima para produção de alimentos, muitos países, principalmente a Europa, estão valorizando projetos que não utilizam como fonte de matéria-prima produtos que possam ser destinados a produção de alimento, porém no caso do milho, este pode ser utilizado em diversas indústrias como produção de cereais, milho cozido, pipoca, cremes e entre muitas outras finalidades.

Analisando o ambiente externo do projeto, pode-se identificar como Oportunidades (O) o crescimento histórico do milho no Brasil, apresentando produção excedente significativa para exportação, assim não apresentando futuros problemas de abastecimento de matéria-prima para futuros projetos de etanol de milho. Outro ponto que viabiliza os projetos de milho é a possibilidade de estocagem do milho, assim caso seja construído um armazém, a compra do milho pode ser realizada nos períodos de maior produção brasileira, e conseqüentemente, menor preço no mercado, assim reduzindo o custo da sua matéria-prima.

Por fim, analisando o ambiente externo como Ameaças (T) do projeto de etanol de milho nota-se uma dependência da usina ao mercado externo, uma vez que a matéria-prima é precificada como *commodities* e está sujeita às variações de mercado, pela Figura 4 houve um aumento significativo no preço da saca de milho, assim aumentando o custo de produção da usina. O produto final, o etanol, também está sujeito ao preço de mercado do petróleo e as deliberações da Petrobrás no Brasil, assim dificultando as previsões futuras e oscilações de preço.

Compilando as informações expostas, construiu-se a Matriz SWOT (Tabela 5)

para uma usina de etanol de milho.

**Tabela 5 - Matriz SWOT para Usina de Etanol de Milho**

Matriz SWOT	Contribui para o Projeto	Dificulta o Projeto
<b>Ambiente Interno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta produção agrícola de milho;</li> <li>- Composição do milho (amido);</li> <li>- Maturação do projeto entre 2 e 3 anos;</li> <li>- Coprodutos (DDGS e Óleo de Milho).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consumo de energia do processo industrial;</li> <li>- Competição da matéria-prima com alimento;</li> <li>- Questão ambiental desfavorável.</li> </ul>
<b>Ambiente Externo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possibilidade de estocagem do milho;</li> <li>- Crescimento da produção agrícola brasileira.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grande exposição ao mercado de petróleo;</li> <li>- Grande exposição ao mercado de <i>commodities</i>.</li> </ul>

## 5.2 USINA ETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR

Construiu-se racional semelhante ao da usina de milho para a de cana-de-açúcar, sendo identificados os pontos que favorecem ou não um projeto de etanol de cana, abordando visões intrínsecas do projeto (ambiente interno) e que influenciam as operações do processo (ambiente externo).

Analisando os pontos que contribuem para o projeto em seu ambiente interno (Forças – S), pode-se apontar a produção de energia a partir de um coproduto proveniente da moagem da cana, o bagaço, que é encaminhado para termelétricas, dessa forma, as usinas de cana-de-açúcar conseguem auto-sustentar a sua operação e realizar a venda do excedente, incrementando as fontes de receita da usina.

A partir da produção interna de energia utilizando de fontes renováveis há menor pegada de carbono para o projeto, conseqüentemente, melhorando as condições de operação da usina e as certificações ambientais que regem o setor. Outro fator que contribui para a questão ambiental é a distância que a matéria-prima deve percorrer para chegar à usina, como apresentado anteriormente as usinas de

cana devem permanecer próximas da matéria-prima, uma vez que a cana não pode percorrer grandes distâncias, se não irá perder a produtividade da colheita.

Diferencialmente do milho, a cana-de-açúcar apresenta uma possibilidade de produção de etanol que não compete com produção de alimentos que é a partir do bagaço da cana, por meio da celulose produzir etanol, entretanto o processo de produção utilizando a sacarose do caldo de cana, como apresentado na Figura 18, ainda compete com produtos alimentícios pois é possível produzir açúcar. Nos últimos anos a produção de etanol de segunda geração (E2G) vem crescendo e algumas empresas estão investindo nesta tecnologia, e países europeus estão pagando um valor diferenciado por este produto, assim fomentando esta prática produtiva proveniente da cana-de-açúcar.

Analisando o projeto pelos pontos que dificultam a sua implementação visualizando o ambiente interno (Fraquezas – W) pode-se elencar a utilização da cana competindo com a produção de alimentos como comentado anteriormente, mas também a composição da matéria-prima, a cana, apresentando a sacarose como fonte para formação das moléculas de etanol, uma vez que é um dissacarídeo e após a etapa de hidrólise é possível formar apenas duas moléculas de hexose, diferentemente do amido que é um polissacarídeo e pode formar diversas moléculas.

Devido a sua composição, a produtividade da cana é muito menor quando comparada com a do milho, pois com uma tonelada de milho pode-se produzir cerca de 420 L de etanol e com a cana-de-açúcar apenas 80 L. Entretanto, a baixa produtividade de cana pode ser equilibrada com o milho devido a sua produção agrícola, como apresentado anteriormente a produtividade agrícola do milho na safra de 2021/22 no Brasil foi de 87 sacas por hectare (sc/ha), ou seja, cerca de 5,2 toneladas por hectare (ton/ha), enquanto a cana de açúcar apresenta uma produtividade na safra 2021/22 de 70,4 ton/ha.

Deixando as comparações na mesma base, pode-se deixar pela quantidade de etanol que se consegue produzir em 1 hectare, utilizando como base a safra 2021/22 o milho conseguiu produzir 2.184 L/ha, enquanto a cana-de-açúcar produziu 5.600 L/ha.

Outro ponto que foi discutido no item anterior seria o período de maturação de uma usina de cana-de-açúcar, pois com investimento o projeto estará operando em condições ideais de operação, tanto industriais como agrícolas, em cerca de 7 a 8

anos, assim se tornando um investimento de maturação mais longa e, conseqüentemente, de mais longo prazo quando comparado a maturação de 2 a 3 anos de uma usina de milho.

Abordando o projeto de uma usina de etanol de cana-de-açúcar pelo ambiente externo e que contribuem para a operação (Oportunidades – O), é interessante abordar o histórico da produção de etanol a partir da cana no Brasil, apresentando um mercado já consolidado e que teve grande incentivo com programas governamentais como o Programa Nacional do Álcool, assim apresentando maiores informações e infraestruturas para o desenvolvimento de novos projetos.

Comparando à usina de milho pode-se apontar uma menor exposição da usina para o mercado externo, apesar do foco ser a produção de etanol, a usina de cana-de-açúcar apresenta a possibilidade de produção de açúcar, assim em anos ou períodos em que não esteja favorável a produção alcooleira, é possível aumentar a produção de açúcar e reduzir o impacto financeiro das condições de mercado.

Analisando os coprodutos provenientes da cana, é possível abordar uma oportunidade pela produção de torta de filtro, o qual pode ser utilizado como adubação e assim reduzir os custos de tratos e plantio de cana-de-açúcar na região, aumentando a possibilidade de lucro da operação da usina.

Por fim, um dos pontos que mais diferenciam os projetos logisticamente é a possibilidade de estocagem que o milho apresenta, como discursado anteriormente, a cana-de-açúcar não pode percorrer grandes distâncias e ser estocada por períodos maiores do que 12 horas, assim se tornando uma Ameaça (T) para o desenvolvimento da usina, que deve apresentar um sistemas logístico avançado para não deixar diminuir a qualidade da cana moída, e principalmente, não deixar faltar cana para a moagem.

Compilando as informações expostas, construiu-se a Matriz SWOT (Tabela 6) para uma usina de etanol de cana-de-açúcar.

**Tabela 6 - Matriz SWOT para Usina de Etanol de Cana-de-Açúcar**

Matriz SWOT	Contribui para o Projeto	Dificulta o Projeto
<b>Ambiente Interno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produção de energia;</li> <li>- Produtividade por hectare elevado;</li> <li>- Possibilidade de produção do E2G;</li> <li>- Questão ambiental favorável.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Competição da matéria-prima com produção de alimento;</li> <li>- Maturação do projeto de 7 a 8 anos.</li> </ul>
<b>Ambiente Externo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menor exposição ao mercado de petróleo;</li> <li>- Mercado consolidado;</li> <li>- Coproduto (torta de filtro) contribui na adubação do solo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sem possibilidade de estocagem da cana.</li> </ul>

## 6 CONCLUSÕES

No presente trabalho, desenvolveu-se uma Análise SWOT para uma usina de etanol de milho e outra para uma usina de etanol de cana-de-açúcar, utilizando como base revisões bibliográficas e dados coletados de órgãos governamentais, abordando diferentes frentes de importância para um processo de tomada de decisão para a construção das usinas, como: composição da matéria-prima, produtividade agrícola de ambas as culturas, preços, impactos ambientais, fluxogramas dos processos, possíveis coprodutos, análise de exposição econômica dos projetos, período de maturação dos projetos, e entre outros.

Ao final, construiu-se uma Matriz SWOT para cada usina, compilando as informações coletadas e expostas, subdividindo de acordo com a definição para a construção de um novo projeto. Entretanto, algumas análises futuras podem complementar a discussão elaborada, como o investimento necessário para implementar as usinas e compará-las, aprofundar o processo de etanol de segunda geração para entender melhor a viabilidade do projeto, e estudar a viabilidade de um projeto que contemple as duas plantas em conjunto.

Por fim, outra análise que pode complementar o trabalho desenvolvido, seria o estudo de uma usina híbrida, utilizando tanto cana-de-açúcar quanto o milho, uma vez que, em períodos de plantio da cana-de-açúcar, onde não há operação da usina poderia se utilizar o milho como matéria-prima para continuar operando. Entretanto, uma análise mais aprofundada neste tópico é necessária para entender melhor as sinergias entre os dois projetos e as dificuldades de sua implementação.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. T. DE; CARVALHO, S. R. G. DE; SOUZA, L. F. DE. PROGRAMA DO PROÁLCOOL E O ETANOL NO BRASIL. **Engvista**, v. 11, n. 2, 2 fev. 2010.

BARROS, T. D. **Milho - Portal Embrapa**. Disponível em: <[https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/alcool/materias-primas/milho?p\\_p\\_id=2\\_WAR\\_kaleodesignerportlet&p\\_p\\_lifecycle=0](https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/alcool/materias-primas/milho?p_p_id=2_WAR_kaleodesignerportlet&p_p_lifecycle=0)>. Acesso em: 15 fev. 2023.

CARDOSO, M. **Sacarose - Química**. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/quimica/sacarose/>>. Acesso em: 1 mar. 2023.

**CEPEA-Esalq/USP**. Desenvolvimento de Sites. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br>>. Acesso em: 1 mar. 2023.

**CONAB**. Disponível em: <<https://portaldeinformacoes.conab.gov.br>>. Acesso em: 1 mar. 2023.

DA SILVA, J. P. N.; DA SILVA, M. R. N. Noções da Cultura da Cana-de-Açúcar. v. 1ª ed. Inhumas – GO, 2012.

DONKE, A. C. G. **Avaliação de desempenho ambiental e energético da produção de etanol de cana, milho e sorgo em uma unidade integrada, segundo a abordagem do ciclo de vida**. Mestrado em Energia—São Paulo: Universidade de São Paulo, 8 ago. 2016.

**FAOSTAT**. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Acesso em: 1 mar. 2023.

FOGAÇA, J. R. V. **Amido**. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/amido.htm>>. Acesso em: 1 mar. 2023.

FRANÇOSO, R. F. et al. Relação do custo de transporte da cana-de-açúcar em função da distância. **Revista IPecege**, v. 3, n. 1, p. 100–105, 16 fev. 2017.

GASQUES, J. G. et al. **PROJEÇÕES DO AGRONEGÓCIO: BRASIL 2021/22 A 2031/32**. , 2022.

LEITE, M. S. R.; GASPAROTTO, A. M. S. ANÁLISE SWOT E SUAS FUNCIONALIDADES: o autoconhecimento da empresa e sua importância. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 2, p. 184–195, 30 dez. 2018.

LOPES, C. H.; GABRIEL, A. V. M. D.; BORGES, M. T. M. R. **PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DA CANA-DE-AÇÚCAR: TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE ETANOL**. , 2011.

MAGRO, F. J. et al. **Biometria em Cana-de-Açúcar**. , 2011.

OLIVEIRA, M. D. S. DE et al. Avaliação de duas variedades de cana-de-açúcar

submetidas a diferentes tempos de armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 8, p. 1435–1442, ago. 1999.

PACHECO, T. F. FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA COM LEVEDURAS DE CARACTERÍSTICAS FLOCULANTES EM REATOR TIPO TORRE COM ESCOAMENTO ASCENDENTE. 2010.

PAES, M. C. D. **ASPECTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E TECNOLÓGICOS DO GRÃO DE MILHO**. , 2006.

PIOLI, A. **Produção de etanol de milho avança 34% em meio à quebra histórica da cana | NovaCana**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/milho/producao-etanol-milho-avanca-34-quebra-historica-cana-260422>>. Acesso em: 19 fev. 2023.

**Revista Campo & Negócios**. Disponível em: <<https://revistacampoenegocios.com.br/confira-cinco-dicas-para-armazenar-os-graos-e-evitar-prejuizo/>>. Acesso em: 1 mar. 2023.

REZENDE, R. C. DE. **Maltose - Bioquímica**. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/bioquimica/maltose/>>. Acesso em: 1 mar. 2023.

ROSSI, A. R.; BERNARDES, M. S. Estudo sobre manejo e decaimento de produtividade de cortes sucessivos em canavial na região de Ribeirão Preto – SP. [s.d.].

SALLA, D. A.; CABELLO, C. ANÁLISE ENERGÉTICA DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ETANOL DE MANDIOCA, CANA-DE-AÇÚCAR E MILHO. **ENERGIA NA AGRICULTURA**, v. 25, n. 2, p. 32, 10 jun. 2010.

SANCHES, A.; ALVES, L. R. A. Oferta e demanda mensal de milho no Brasil. n. 4, 2018.

SILVA, B. C. R. et al. Uso do coproduto de etanol de milho na alimentação de aves: Revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e15510413891–e15510413891, 4 abr. 2021.

SILVEIRA, J. L. ESTUDO DA PRODUÇÃO DE ETANOL DE SACAROSE POR FERMENTAÇÃO EXTRATIVA UTILIZANDO ARRASTE COM DIÓXIDO DE CARBONO. 2016.

SOUZA, I. A. D. PRODUÇÃO DE AGUARDENTE DE MANDIOCA UTILIZANDO O FUNGO ASPERGILLUS ORYZAE PARA LIQUEFAÇÃO E SACARIFICAÇÃO DO AMIDO. 2014.

**UNICA**. Disponível em: <<https://observatoriodacana.com.br/>>. Acesso em: 1 mar. 2023.

**USDA**. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>>. Acesso em: 1 mar. 2023.