

**UNIVERSIDADE DE UBERABA**  
**JOSÉ RONALDO MACHADO BORGES**

**OBTENÇÃO DE BIOETANOL POR FERMENTAÇÃO A PARTIR DO MILHO**

**UBERABA/MG**

**2018**

**JOSÉ RONALDO MACHADO BORGES**

**OBTENÇÃO DE BIOETANOL POR FERMENTAÇÃO A PARTIR DO MILHO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade de Uberaba, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador Prof.: Dr. Mauro Luiz Begnini

**UBERABA/MG**

**2018**

**JOSÉ RONALDO MACHADO BORGES**

**OBTENÇÃO DE BIOETANOL POR FERMENTAÇÃO A PARTIR DO MILHO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade de Uberaba, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química

**Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2018, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:**

---

Professor: Dr. Mauro Luiz Begnini.  
UNIVERSIDADE DE UBERABA.

---

Professor:  
UNIVERSIDADE DE UBERABA.

---

Professor:  
UNIVERSIDADE DE UBERABA.

“Que os vossos esforços desafiem  
as impossibilidades, lembrai-vos de que  
as grandes coisas do homem foram  
conquistadas do que parecia impossível.”

**Charles Chaplin**

Dedico este trabalho  
primeiramente à Deus, pois sem Ele nada  
seria possível, aos meus pais e a todos  
nossos familiares e amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por guiar meus passos e dar energia para minha caminhada.

Aos meus pais pelo apoio em momentos difíceis e pelos sábios conselhos

Aos meus irmãos que me apoiaram e incentivaram

Ao professor Dr. Mauro Luiz Begnini pelo apoio e incentivo neste trabalho

Aos amigos pelo apoio e dedicação nesta jornada que foi cansativa e complicada.

E as pessoas que duvidaram da minha capacidade pois foi um incentivo para continuar nesta jornada.

## RESUMO

Por causa do aquecimento global, os pesquisadores sempre estão à procura de novas fontes de energia renováveis. A utilização de combustíveis fósseis libera altíssimas quantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), entre outros gases nocivos. Neste contexto de fontes de energias renováveis e menos poluentes, a produção de bioetanol vem se destacando por ser produzido a partir de fontes limpas. O Estados Unidos da América e o Brasil são os maiores produtores. Os Estados Unidos utilizam milho para a produção de bioetanol e o Brasil a cana-de-açúcar. O Brasil começou a produzir bioetanol nos meados de 1920, mas só atualmente ganhou forças. Na última safra (17/18) o Brasil produziu 27,9 bilhões de litros e a safra desse ano está com possibilidades de aumentar 4,6%. Por ser um grande produtor de milho, o Brasil tem grandes potenciais para produzir bioetanol de milho assim aumentando ainda mais a produção deste biocombustível.

**Palavras-chave:** Milho. Bioetanol. Brasil

## **ABSTRACT**

Because of global warming, researchers are always looking for new renewable energy sources. The use of fossil fuels releases very high amounts of carbon dioxide, sulfur dioxide, and other harmful gases. In this context of renewable and less polluting energy sources, the production of bioethanol has been outstanding because it is produced from clean sources. The United States of America and Brazil are the largest producers. The United States uses maize for the production of bioethanol and Brazil uses sugarcane. Brazil started producing bioethanol in the mid-1920s, but it only gained momentum today. In the last harvest (17/18) Brazil produced 27.9 billion liters and this year's harvest is likely to increase by 4.6%. For without a large corn producer, Brazil has great potential to produce corn bioethanol thus further increasing the production of this biofuel.

**Keywords:** Corn. Bioethanol. Brazil

## Lista de figuras

<b>FIGURA 1:</b> FOTO ILUSTRATIVA DO PÉ DE CANA-DE-AÇÚCAR .....	19
<b>FIGURA 2:</b> ESTRUTURA DA SACAROSE .....	20
<b>FIGURA 3:</b> ESTRUTURA DO MILHO .....	21
<b>FIGURA 4:</b> TRECHO DA MOLÉCULA DE AMIDO .....	22
<b>FIGURA 5:</b> PRÉ-LIMPEZA.....	23
<b>FIGURA 6:</b> CALHAS DE SECADORES.....	23
<b>FIGURA 7:</b> MOINHO DE MARTELO .....	24
<b>FIGURA 8:</b> BIORREATORES .....	26
<b>FIGURA 9:</b> POSSÍVEIS VIAS FERMENTATIVAS .....	27
<b>FIGURA 10:</b> DIAGRAMA SIMPLIFICADO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO BIOETANOL.....	29
<b>FIGURA 11:</b> DIAGRAMA DE PRODUÇÃO DE ETANOL DE MILHO E SUBPRODUTOS.....	30
<b>FIGURA 12:</b> DIAGRAMA DO PROCESSO.....	33

## **LISTA DE TABELAS**

<b>TABELA 1: GRANULOMETRIA DA FARINHA.....</b>	<b>25</b>
<b>TABELA 2: COMPOSIÇÃO DO MILHO .....</b>	<b>35</b>
<b>TABELA 3: MILHO QUE SERÁ PROCESSADO.....</b>	<b>35</b>
<b>TABELA 4: VALORES ADOTADOS PARA OS CÁLCULOS.....</b>	<b>36</b>
<b>TABELA 5: BALANÇO DE MASSA .....</b>	<b>36</b>

## Lista de siglas e abreviaturas

DDGS	<i>distillers dried grains with solubles</i>
pH	potencial hidrogeniônico
MEG	mono etilenoglicol
Ton	tonelada
H	horas
g	gramas
Sc	sólidos secos
Vm	vazão mássica
Xas	fração de sólidos na solução
M	milho que será necessário
Ce	conversão do etanol
Mme	massa molar do etanol
Qe	coeficiente estequiométrico do etanol
Mmg	massa molar da glicose
Cc	Conversão do CO <sub>2</sub>
Mmc	Massa molar CO <sub>2</sub>
Qc	coeficiente estequiométrico CO <sub>2</sub>
Ah	Amido hidrolisado
Xa	fração de amido.
Ai	Amido hidrolisável
G	Glicose
Gh	Ganho hidrolítico
CA	Conversão do amido
Et	bioetanol produzido
RF	Rendimento da fermentação

## Sumário

<b>CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	15
2.1 Objetivos Gerais.....	15
2.2 Objetivos Específicos.....	15
<b>CAPITULO III: REVISÃO BILIOGRÁFICA</b> .....	16
3.1 Benefícios ambientais do uso de etanol de milho.....	16
3.2 Bioetanol de milho nos Estados Unidos.....	16
3.3 Vantagens e desvantagens na utilização do Milho para produção de bioetanol.....	17
3.4 Impactos positivos e negativos na economia.....	18
3.5 Usinas que produzem bioetanol de milho no Brasil.....	18
3.6 Bioetanol.....	18
3.7 Produção de bioetanol no brasil.....	19
3.8 bioetanol de cana-de-açúcar.....	19
3.9 Bioetanol de milho.....	21
3.10 Etapas do bioetanol de milho.....	22
3.10.1 limpeza dos grãos.....	22
3.10.2 Secadores.....	23
3.10.3 Moagem.....	24
3.10.4 Gelatinização.....	25
3.11 Fermentação.....	25
3.12 Usina de bioetanol.....	28
3.13 Adaptação da usina.....	30
<b>CAPÍTULO IV. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	32
4.1 Balanço de massa.....	32
4.2 Metodologia do cálculo.....	32

<b>CAPITULO V: RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>35</b>
5.1 balanço de massa .....	35
<b>CAPITULO VI: CONCLUSÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>39</b>

## **CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO**

---

Com o aumento da população serão necessárias mais fontes de energia renováveis e limpas, pois a utilização de fontes de energia não renováveis aumenta a poluição que já está elevada nos dias atuais. Com isso foram realizadas várias pesquisas e encontraram várias novas fontes de energia como a produção de bioetanol a partir da cana-de-açúcar, milho e beterraba. Cada parte do mundo produz com uma matéria-prima diferente, isso varia por questões climáticas. Na Europa utiliza-se beterraba, nos Estados Unidos da América milho e no Brasil cana-de-açúcar.

Além de ser utilizado como combustível, o bioetanol também possui outras utilidades como a produção do eteno, que é matéria prima para fabricação de plásticos. No Brasil, já existem estudos para a produção do mesmo, porém não há produção suficiente de bioetanol para suprir essa demanda. O Brasil é um grande produtor de milho e enfrenta dificuldades de estocar e escoar esse produto, e isso é um dos pontos que torna viável a produção de bioetanol de milho, fazendo usinas de produção de bioetanol perto dos polos produtores de milho.

A cana-de-açúcar não tem como ser utilizada o ano inteiro, pois no período de chuva a quantidade de água presente nela aumenta, com isso a concentração de glicose fica menor tornando inviável sua utilização neste período. Ao contrário da produção de bioetanol de cana-de-açúcar a produção de bioetanol de milho poderia durar o ano inteiro, pois o milho pode ser estocado e ser utilizado nos demais meses do ano. A produção de bioetanol de milho também poderia suprir o mercado nesses meses que não tem como produzir com a cana-de-açúcar fazendo com que o preço do produto final não subisse nesses meses tornando mais viável que a gasolina.

No Brasil existe uma grande área de pesquisas voltada para a produção do milho, mas em contrapartida não existem muitas pesquisas para sua utilização na produção de bioetanol.

O objetivo desse trabalho é pesquisar sobre a produção de bioetanol de milho, como isso afetaria a economia do país, positivamente ou negativamente; se poderia ser viável para o consumidor final, os benefícios ambientais e as vantagens e desvantagens em produzir bioetanol de milho no Brasil

## 2. OBJETIVOS

---

### 2.1 Objetivos Gerais

O principal objetivo é fazer o estudo da produção de bioetanol de milho, comparando o método de produção com o da cana de açúcar. Verificando a viabilidade da implantação desse método no Brasil

### 2.2 Objetivos Específicos

- Estudar e comparar a produção de bioetanol de milho e de cana-de-açúcar;
- Apontar as vantagens e desvantagem entres os dos métodos de produção de bioetanol de milho;
- Observar o método utilizado para a produção de bioetanol de milho em outros países referência em produção;
- Realizar o balanço de massa.

## CAPITULO III: REVISÃO BILIOGRÁFICA

---

### 3.1 Benefícios ambientais do uso de etanol de milho

Combustíveis de origens fósseis como gasolina e diesel emitem gases poluentes como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), óxido nítrico ( $\text{NO}_2$ ) e metano ( $\text{CH}_4$ ) que contribuem para o efeito estufa e causa: elevação da temperatura do planeta, derretimento das calotas polares, aumento do nível do mar e conseqüentemente e fenômenos como furacões, maremotos, tufões, etc. Esses combustíveis também emitem muitas substâncias nocivas à saúde humana causando inúmeras doenças (PENA, 2018).

O bioetanol de milho emite menos dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) por ser extraído de vegetais, que durante a fotossíntese absorvem grande parte do gás carbônico da atmosfera e libera oxigênio diminuindo os danos ao meio ambiental. Outro grande benefício é a geração de bioenergia através da queima da palha do milho que possui grande poder calorífico, e pode ser usada para produzir vapor que é transformado em energia térmica, elétrica ou mecânica. Essa eletricidade pode ser usada para abastecer a própria usina e também pode ser vendida substituindo a energia proveniente de hidroelétricas, que são muito questionadas por causa dos impactos ambientais causados pelas mesmas (CEPA, 2018).

O bioetanol de milho traz vários benefícios para o meio ambiente e para a saúde pública desde a plantação do milho até o uso do produto final. A produção deste produto no Brasil e o incentivo ao uso do mesmo poderia influenciar muito e positivamente no meio ambiente, pois o Brasil é um dos maiores produtores de milho do mundo.

### 3.2 Bioetanol de milho nos Estados Unidos

Atualmente o bioetanol de milho não é produzido em muitos países. Os Estados Unidos começaram a produzir bioetanol começou devido à crise de abastecimento na década de setenta, quando a Organização dos Países Árabes Exportadores de Petróleo (OAPEC) reduziu o fornecimento de petróleo para os EUA. A partir de então os Estados Unidos começaram a investir mais para produzir bioetanol de milho com

mais tecnologia e qualidade e hoje ele é maior produtor do mundo com 213 usinas que são responsáveis por 58% da produção mundial de bioetanol. Uma plantação de milho pode produzir de 3 a 10 toneladas de milho, sendo que cada tonelada de milho pode render até 380 litros de bioetanol (CASTRO; NEVES; GRAY, 2017).

As usinas Americanas utilizam dois processos na produção do etanol de milho, o seco e o úmido. O processo seco consiste em moer os grãos e transformá-los em farinha e é utilizado em 90% dos casos. No processo úmido o milho é imerso em uma solução ácida para que seja feita a quebra das moléculas e o amido seja liberado. Após uma dessas etapas são adicionados água e enzimas que facilitam a transformação do milho em um mosto, no qual é aquecido para a diminuição de bactérias, após esta etapa adiciona-se levedura para iniciar o processo de fermentação onde o açúcar é transformado em bioetanol. Na última etapa o bioetanol é separado das outras substâncias através do processo de destilação (NOVOZYMES, 2017).

Os Estados Unidos investem no desenvolvimento de tecnologias para reduzir o custo de produção e busca mais incentivo para o uso do bioetanol misturado a outro combustível no setor automobilístico

### 3.3 Vantagens e desvantagens na utilização do Milho para produção de bioetanol

A utilização do Milho para produção de bioetanol possui vantagens e desvantagens. A vantagem da utilização do Milho na produção de bioetanol é que o Brasil possui toda uma infraestrutura e tecnologia para produção do mesmo, como pesquisas voltadas para melhoramento genético das cultivares e máquinas modernas para o plantio, colheita e beneficiamento dos grãos. Nos próximos anos o milho será o grão mais produzido no Brasil superando a soja que o mais produzido atualmente.

O subproduto do processo de fabricação pode ser utilizado para produção de ração para animais, pois é um produto rico em proteínas sendo utilizado como base nutricional em várias rações. Outra vantagem é que pode ser armazenado podendo ser utilizado posteriormente em momentos fora de época de Colheita.

Um das maiores desvantagens do bioetanol de milho é o rendimento uma tonelada de milho produz 390 a 410 litros quanto a de cana de açúcar produz de 80 a 90 litros, no entanto um hectare de milho produz 6 toneladas e a de cana de açúcar produz 77 toneladas em média (ESALQ/USP, 2017).

### 3.4 Impactos positivos e negativos na economia

Com a utilização do Milho na produção de bioetanol irá movimentar toda uma cadeia pois será necessária mais mão de obra, equipamentos, insumos para o cultivo do milho e isso impulsionar a economia pois a todo uma rede interligada (ZANIN, 2016).

O impacto negativo é que caso ocorra algum problema na produção do Milho irá afetar toda a cadeia, esses problemas podem ser climáticos no transporte dos grãos até usinas e entre outros.

### 3.5 Usinas que produzem bioetanol de milho no Brasil

No Brasil já existe algumas usinas que produz o etanol do Milho só que elas são *Flex*, ou seja, utiliza cana-de-açúcar em determinadas épocas e depois milho na entre safra. Este modo torna mais a produção do bioetanol de milho no período que não é possível a colheita da cana-de-açúcar pode utilizar a mesma usina para a produção, é necessário apenas pequenas modificações na planta.

### 3.6 Bioetanol

O bioetanol é uma substância constituída por dois carbonos, cinco hidrogênio e um grupo hidroxila ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ). A presença da hidroxila torna ele polar, ou seja, ele se mistura facilmente com a água ou outros compostos polares. Em temperaturas ambientes ( $25^\circ\text{C}$ ) o bioetanol é encontrado na forma líquida, pois só atinge seu ponto de ebulição apenas em uma temperatura acima de  $78^\circ\text{C}$ . O bioetanol possui uma temperatura de solidificação baixo, em torno de  $-114^\circ\text{C}$ .

O ponto de fulgor do bioetanol é de  $13^\circ\text{C}$ , nesta temperatura ele libera vapores que em contato com qualquer fonte de calor entra em combustão, agora seu ponto de auto-ignição é de  $363^\circ\text{C}$ , ou seja, sua combustão irá ocorrer sem o contato direto com uma fonte de calor (INMETRO, 2012).

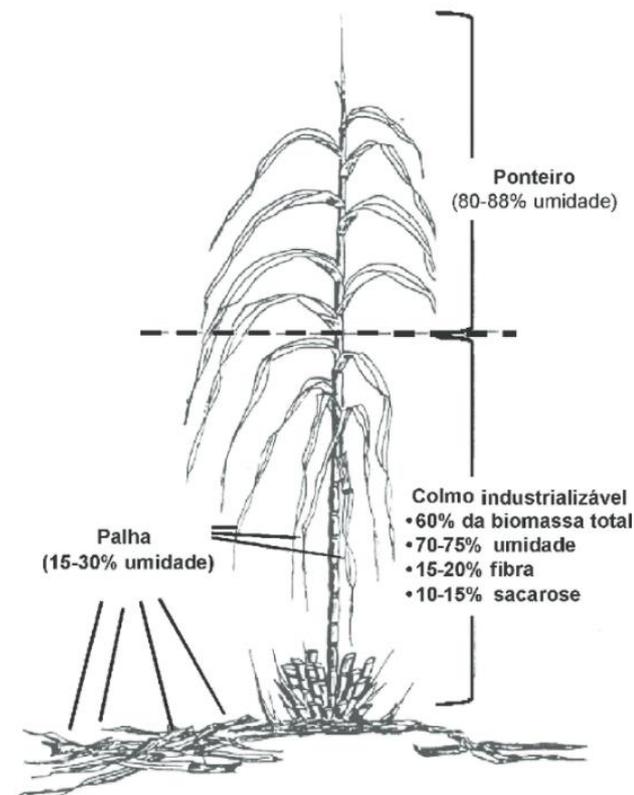
### 3.7 Produção de bioetanol no Brasil

A produção de bioetanol no Brasil teve início por volta de 1920, mas teve seu auge apenas nos anos atuais. Em 1975 o governo criou o programa nacional do álcool (Pró-Álcool), o seu objetivo era diminuir a dependência do país do petróleo que grande parte era importado de outros países, também foi uma resposta a crise do petróleo, pois os países árabes aumentaram o preço do barril em resposta a guerra Yom Kippur contra Israel (PENA, 2018). Este programa só foi possível alcançar resultados significativos pois universidades, empresas, instituições de ensino e o governo trabalharam em conjunto para obter bons resultados.

### 3.8 bioetanol de cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é produzida em grandes escalas no Brasil, é uma planta da família das gramíneas. Em seus colmos concentra a sacarose, que é utilizada para a produção do bioetanol (MANOCHIO2014). a figura 1 explica detalhadamente a cana-de-açúcar:

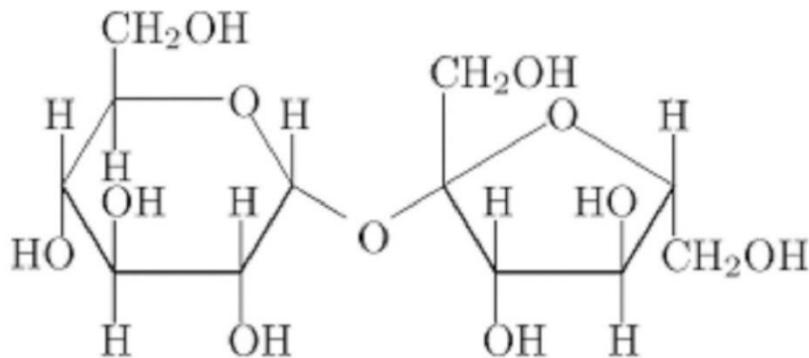
**Figura 1:** foto ilustrativa do pé de cana-de-açúcar



**Fonte:** (Matsuoka, 2010)

A sacarose é o açúcar presente na cana-de-açúcar, sua molécula é composta por uma de frutose e outra de glicose formando um dissacarídeo. A figura 2 demonstra a fórmula estrutural da sacarose:

**Figura 2:** estrutura da sacarose



**Fonte:** (CRUZ, 2011)

Logo após o corte da cana-de-açúcar, ela é transportada em caminhões para as usinas, grande parte da produção é escoada pela malha rodoviária, o transporte deve ser rápido pois à perda de sacarose com o passar do tempo.

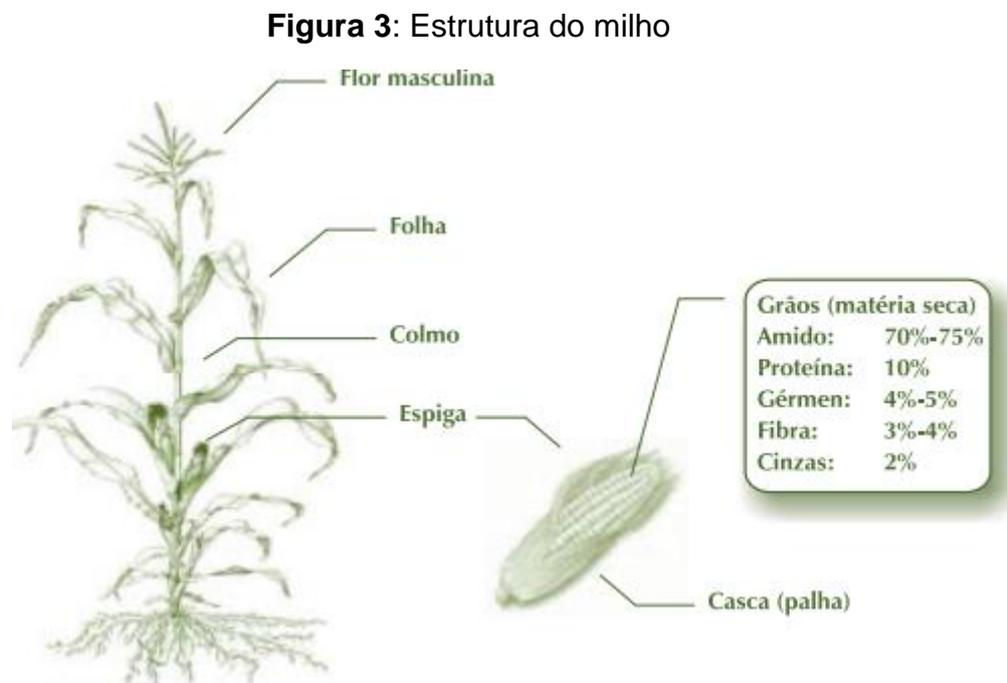
Segundo OLIVEIRA (2018) a produção do bioetanol inicia após a chegada da cana-de-açúcar na indústria, com sua chegada são realizados testes pra descobrir a concentração de açúcar. Após realizados estes procedimentos a cana-de-açúcar é encaminhada para as moendas aonde será extraído o caldo para ser utilizado na fermentação. Com o caldo extraído ele passa por uma filtragem e é encaminhado para os fermentadores aonde e adicionado as leveduras que serão responsáveis pela a produção. A fermentação dura em torno de 12 horas, terminando a fermentação, o vinho (caldo após a fermentação) é encaminhado para centrifugas para extrair as leveduras que serão utilizadas em outras fermentações. Após a centrifuga, o vinho e encaminhado para as torres de destilação, aonde é separado o bioetanol da vinhaça (MANOCHIO2014).

Através desses processos obtém o bioetanol de cana-de-açúcar, depois ele é armazenado em tanques para ser distribuídos em postos de combustíveis ou será utilizado em industrias para a produção de solventes, plásticos e outros produtos.

### 3.9 Bioetanol de milho

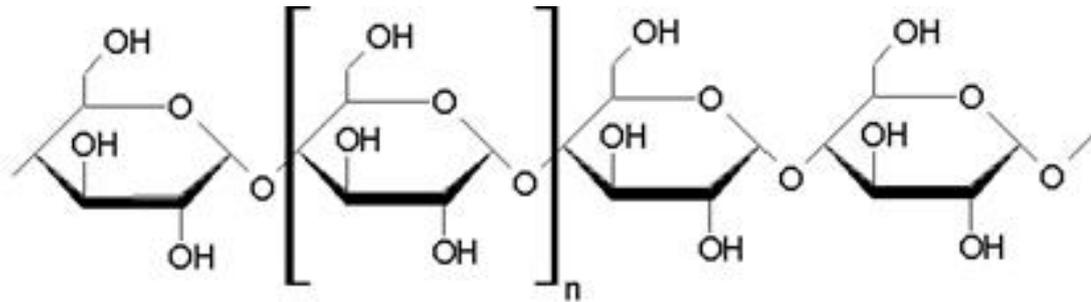
Bioetanol de milho é um tipo de biocombustível produzido a partir do milho que pode ser cultivado, portanto é considerado uma fonte renovável. O uso do bioetanol diminui a emissão de gases poluentes comparando com combustíveis de origem fóssil que são responsáveis pelo efeito estufa e conseqüentemente outros problemas ambientais e de saúde (PENA, 2018).

De acordo com MANOCHIO (2014), assim como a cana-de-açúcar, o milho também é da família das gramíneas, sua produção ocupa várias extensões de terra em todo o mundo, sendo o cereal mais produzido, pois é muito utilizado no ramo alimentício. Sua estrutura está demonstrada na figura 3:



**Fonte:** (BNDES 2008)

De acordo com BARROS (2018) é necessário realizar a quebra do amido e transformar ele em açúcares solúveis, os quais são utilizados na fermentação. É necessário realizar este procedimento pois o amido é um polissacarídeo, ou seja, ele possui uma cadeia constituída de várias moléculas de glicose fazendo ele possuir baixa solubilidade na água. Para um melhor entendimento sobre a molécula de amido, observe a figura 4:

**Figura 4:**trecho da molécula de amido

**Fonte:** (FOGAÇA, 2018)

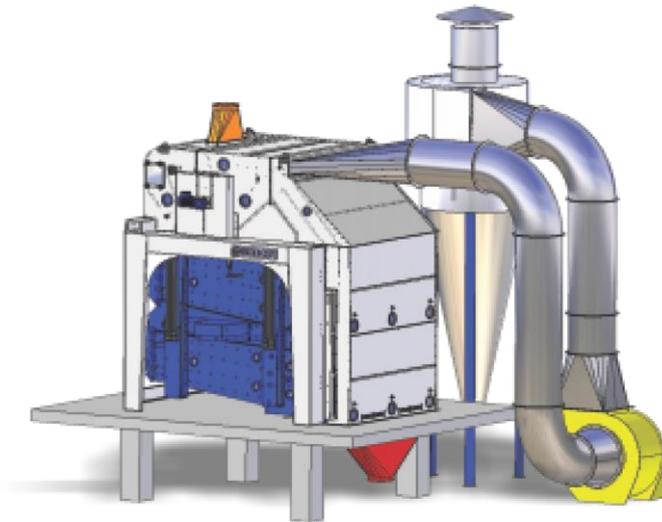
Para a produção do bioetanol de milho a primeira etapa é receber a matéria-prima (milho em grãos), realizar a limpeza e armazenar. O processo de limpeza é fundamental para garantir a qualidade e uniformidade dos grãos, pois torna os processos de aeração e secagem eficientes. Armazenar o milho sem a realização da limpeza pode ocasionar perdas devido a fenômenos biológicos, físicos e químicos.

Depois da fermentação, o mosto é encaminhado para as centrifugas no qual é separado a parte sólida, que é utilizada para produzir ração para animais. O filtrado segue para uma coluna de destilação, aonde é extraído o bioetanol da vinhaça. Uma parte desta vinhaça é conhecida como vinhaça doce, pois possui açúcares que não foram convertidos, ela retorna para o processo para aumentar a eficiência (GRIPPA, 2012).

### 3.10 Etapas do bioetanol de milho

#### 3.10.1 limpeza dos grãos

A operação de limpeza dos grãos tem como objetivos retirar corpos estranhos (torrões de terra, fragmentos do vegetal, sementes de outras plantas, etc). Os grãos que possuem impurezas estão sujeitos a perda, pois as impurezas são grandes portadores de microrganismos e absorvem umidade assim facilitando o desenvolvimento de fungos. A limpeza dos grãos é realizada por máquinas de pré-limpeza. Essas máquinas contêm várias peneiras para separar os grãos das impurezas, elas também possuem ventiladores para facilitar (CASEMG, 2018). Observe a figura 5 para melhor entendimento do funcionamento deste equipamento:

**Figura 5:** pré-Limpeza

**Fonte:** (BECKER, 2018)

### 3.10.2 Secadores

Após a limpeza os grãos são encaminhados para secadores caso a umidade esteja acima de 14%. Os grãos com umidade elevada estão suscetíveis a perdas. Os secadores são equipamentos que se baseia no aumento da temperatura do ar, assim torna possível absorver umidade dos grãos. Os secadores mais utilizados são o tipo calha. No seu interior as calhas as calhas são montadas intercalada, assim fica uma abertura para que o ar quente tenha contato com o grão. A figura 6 demonstra como são as calhas:

**Figura 6:** calhas de secadores

**Fonte:** (PERFILADOS UBERLÂNDIA, 2018)

Após secos os grãos são transportados para os silos até sua utilização. O transporte é realizado por elevadores de caneca, roscas transportadoras ou correias transportadoras.

### 3.10.3 Moagem

Para a operação de moagem dos grãos são necessário moinhos. Os moinhos mais utilizados para essa operação são os de martelos. Este moinho possui um rotor de martelos e outros dispositivos que ajuda na moagem. Quanto maior a contato do martelo com o produto, a qualidade da moagem é melhor, a figura 7 demonstra este modelo de moinho:

**Figura 7:** moinho de martelo



**Fonte:**(SNTMAQUINAS, 2018)

Na moagem é necessário que as partículas fiquem em um tamanho uniforme, pois isso interfere na conversão do etanol. As partículas muito pequenas dificultam a separação do DDGS do etanol e água, mas facilita a ação das enzimas. As partículas grandes tornam a eficiência do processo menor, pois a superfície de contato das enzimas será menor assim dificultando a quebra do amido, mas por outro lado facilita a centrifugação (GRIPPA, 2012).

Na Tabela 1 é possível ver o tamanho de partículas encontrados em usinas de etanol nos EUA:

**Tabela 1:** granulometria da farinha

Mesh	mm	%
12	1,68	3
16	1,19	8
20	0,841	36
30	0,595	20
40	0,42	14
60	0,25	12
Pane,a	<0,25	7

**Fonte:** (GRIPPA, 2012).

#### 3.10.4 Gelatinização

Na gelatinização a farinha é aquecida em água quente e partir de vapor e recebe as enzimas que quebra o amido em moléculas menores. Assim a água é absorvida pelos grãos de farinha formando uma goma que será encaminhada para a sacarificação. Agora a goma recebe as enzimas responsáveis pela quebra das moléculas menores em glicose e outras substâncias menores. Este processo ocorre em condições específicas para favorecer a atuação das enzimas. A mistura na deve ficar muito tempo exposta à enzimas, pois ocorre a formação de moléculas que não serão processadas, assim diminuindo a eficiência do processo (PEREIRA, 2017).

Depois de realizar estes processos a próxima etapa é a fermentação, aonde é adicionado a levedura. Esta etapa deve ocorrer dentro dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos para que a conversão do açúcar em bioetanol. Depois da fermentação, o mosto é encaminhado para as centrifugas no qual é separado a parte sólida (DDGS), que é utilizada para produzir ração para animais. O filtrado segue para uma coluna de destilação, aonde é extraído o bioetanol da vinhaça. Uma parte desta vinhaça é conhecida como vinhaça doce, pois possui açúcares que não foram convertidos, ela retorna para o processo para aumentar a eficiência (PEREIRA, 2017).

#### 3.11 Fermentação

A utilização de microrganismos para a transformação está presente desde a antiguidade. O ser humano através da observação, percebeu que alguns processos

aconteciam graças a presença de microrganismos presentes no meio. Algumas fermentações ocorrem graças as bactérias, como as bactérias acéticas que são cultivadas para a produção de vinagre e as bactérias lácteas, responsáveis pela produção de queijos e iogurtes, assim favorecendo a preservação do leite (GRIPPA, 2012).

Para o cultivo de microrganismos são utilizados equipamentos chamados biorreatores, que consiste em um sistema fechado ou aberto com a possibilidade de manipular os parâmetros que podem altera o comportamento das leveduras (aeração, concentração de reagentes, pH e transferência de calor e massa). Com a manipulação destas variáveis é possível promover um rendimento do produto, reduzir custos de produção e melhorar a produção (GRIPPA, 2012). A Figura 8 mostra o exemplo de um biorreator:

**Figura 8:** biorreatores



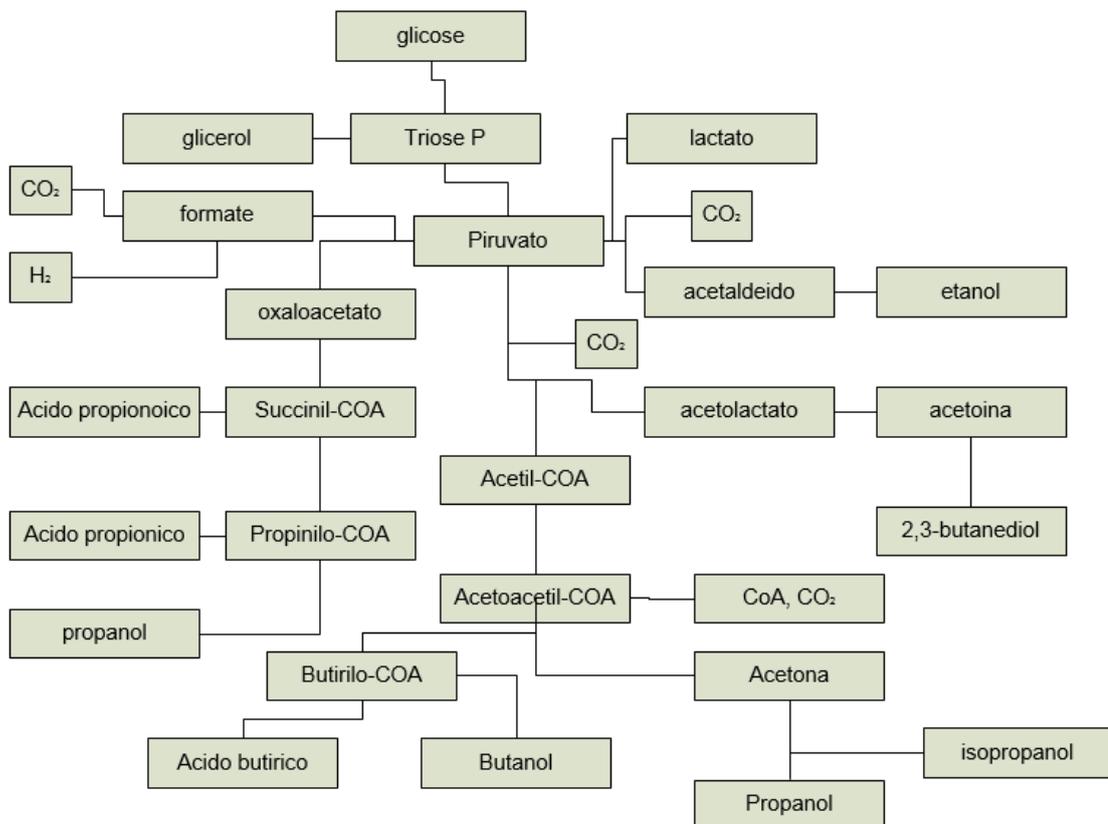
**Fonte:** (ZANINI, 2018)

Os biorreatores são tanques cilíndricos que podem apresentar ou não um intuito de otimizar o processo, melhorar a qualidade ou tipo de células que será cultivado (fungos, enzimas, bactérias, entre outros) (GRIPPA, 2012). A figura

Através de experimentos aeróbios foi observado que *Saccharomyces cerevisiae* sob presença de nitrogênio utiliza apenas de 3 a 20% do açúcar para a respiração e o restante era utilizado para a produção de bioetanol através da via fermentativa. As leveduras cultivadas sem nitrogênio utilizavam para a respiração de 25 a 100% dos açúcares metabolizados (GRIPPA, 2012).

Durante a fermentação, pode ocorrer a formação de produtos secundários como glicerol, álcoois superiores, butilenoglicol, ácidos orgânicos, entre outros compostos. Calcula-se que aproximadamente 5% dos açúcares são desviados para a formações destes compostos. A figura 9 mostra várias vias fermentativas.

**Figura 9:** possíveis vias fermentativas



**Fonte:** (autor)

As composições químicas do meio (nutrientes, contaminantes e nutrientes) de aonde será cultivado, condições ambientais e físicas (pH, temperatura, aeração) são os principais fatores que afetam a fermentação (GRIPPA, 2012).

### 3.12 Usina de bioetanol

Para a produção do bioetanol da cana-de-açúcar é necessário a sua colheita. Grande parte da colheita é mecanizada, utilizando máquinas agrícolas de grande porte com tecnologia de ponta. Após a colheita a cana é transportada para a usina em caminhões, o prazo entre a colheita e a chegada da cana na usina deve ser o menor possível para que não haja contaminação com microrganismos (LOPES; GABRIEL; BORGES, 2011).

Quando chega na usina a cana-de-açúcar passa por uma lavagem para tirar impurezas que vem junto, como por exemplo areia, argila e outras impurezas que podem atrapalhar as operações seguintes. Terminando a lavagem a cana-de-açúcar é encaminhada para a moendas, aonde será extraído o caldo, depois desta operação o caldo passa em peneiras para retirar as impurezas que não foram retiradas na lavagem e restos do bagaço. Em seguida ele é encaminhado para tanques de decantação para de impurezas que não foram extraídos na peneira desçam para o fundo do tanque. O caldo após estas operações é conhecido como caldo clarificado, ele é esterilizado para eliminar microrganismos que podem competir com a levedura tornando o processo de fermentação menos eficiente, podendo contaminar o sistema.

Segundo Grippa (2012) o caldo clarificado e esterilizado é encaminhado para as dornas (tanques aonde ocorre a fermentação), nas dornas é adicionado as leveduras que irão produzir o bioetanol através do seu metabolismo. O processo que ocorre nas dornas de transformação de açúcares em bioetanol ocorre seguindo a reação de Gay-Lussac representada pelas equações abaixo:



Depois da fermentação o vinho (caldo fermentado com leveduras) passa por centrifugas para extrair as leveduras para ser utilizadas em fermentações seguintes.

O vinho é encaminhado para a coluna de destilação aonde o bioetanol é separado da vinhaça, sua concentração é em torno de 96%, pois é uma mistura azeotrópica.

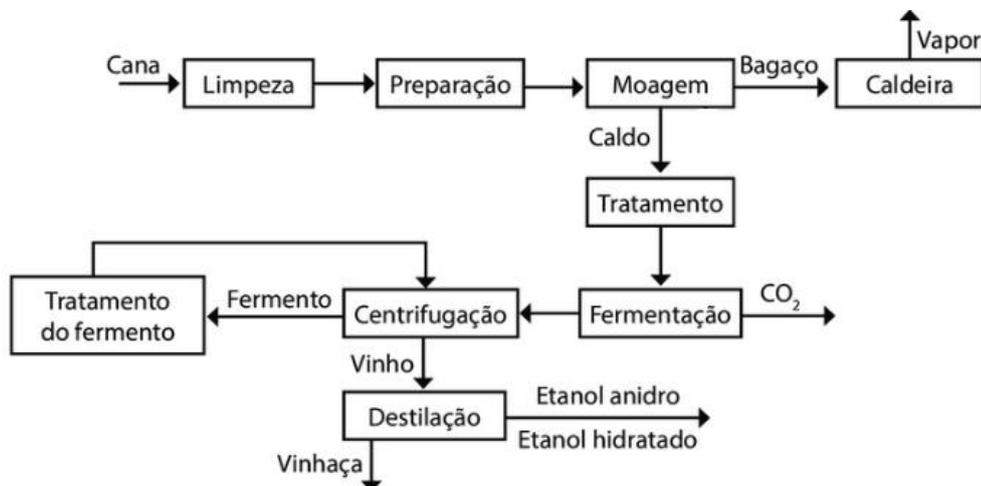
Mistura azeotrópica é uma mistura que não é possível separar componentes por destilação simples, sendo necessário utilizar outra operação para conseguir uma pureza maior. Uns dos métodos utilizados são os seguintes:

- Peneiras moleculares;
- Destilação extrativa, utilizando mono etilenoglicol (MEG);
- Desidratação com ciclohexano.

Peneiras moleculares são leitos recheados normalmente com zeólitas. A solução passa pelo os poros microscópicos do leito, assim a molécula de bioetanol consegue passar e a de água que possui estrutura maior fica retida na peneira. A adição do ciclohexano ou mono etilenoglicol forma uma mistura ternaria com a água, como o bioetanol possui um ponto de ebulição menor do que a mistura binaria inicial. Após estes processos o ciclohexano ou o mono etilenoglicol é recuperado e utilizado novamente no processo. O bioetanol anidro é utilizado para ser adicionado na gasolina, fabricação de tinta e vernizes, bebidas alcoólicas e no ramo farmacêutico.

Veja a figura 10 para um melhor entendimento do processo de fabricação do bioetanol:

**Figura 10:**diagrama simplificado do processo de fabricação do bioetanol

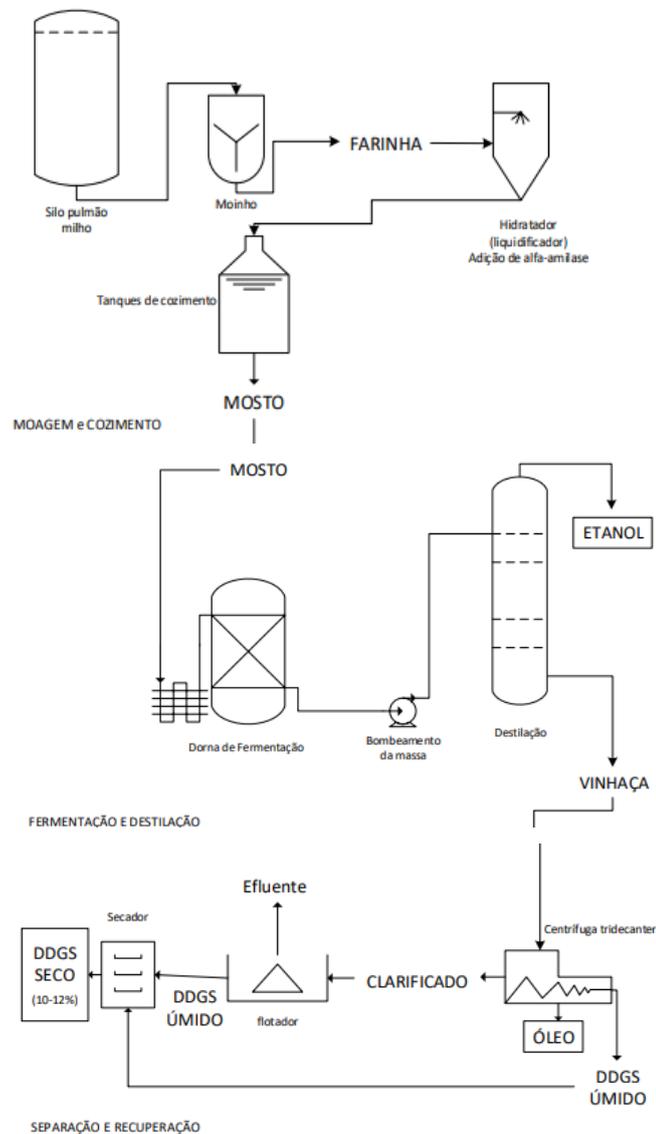


**Fonte:** (COSTA JUNIOR, 2018)

### 3.13 Adaptação da usina

Para tornar uma usina que processa cana em uma usina *flex* (usina que produz bioetanol a partir do milho) é necessário alterações como um setor para fazer a recepção dos grãos, limpeza, estocagem, seguido por uma unidade de trituração e cozimento. Assim é possível a utilização das dornas de fermentação e coluna de destilação, devido ter outros subprodutos em relação ao bioetanol de cana-de-açúcar, também é necessário a instalação de centrifugas, flotadores e secadores para separar o DDGS e óleo bruto. A estrutura específica para produzir etanol utilizando milho está representada na figura 11:

**Figura 11:** diagrama de produção de etanol de milho e subprodutos



**Fonte:** (PEREIRA, 2017)

Segundo PEREIRA, (2017) a usina funciona em sistema contínuo, na operação de cozimento a temperatura fica em torno 100°C facilitando o processo enzimático. A quebra enzimática acontece após a temperatura ficar entre 80°C à 90°C com duração de 90 a 150 minutos com o objetivo que todas as moléculas de amido sejam quebradas. Para chegar na temperatura ideal para a fermentação, o mosto passa por um trocador de calor para que sua temperatura fique entre 30°C à 35°C. Após a fermentação obtém o vinho que possui de 7% a 10% de bioetanol, este vinho é encaminhado para a coluna de destilação aonde é extraído o etanol e os subprodutos e encaminhado para outras operações.

## CAPÍTULO IV. MATERIAIS E MÉTODOS

---

### 4.1 Balanço de massa

No século XVIII Lavoisier descobriu que a massa de substâncias químicas que participa da reação é a mesma que a soma dos produtos. Esta descoberta ficou conhecida como lei da conservação de massa. O balanço de massa segue este princípio, em um processo o balanço é a soma de todas as matérias que entra no sistema, o que sai, acumula ou é transformado durante o processo (BRASIL, 2004).

Para fazer a equação não é necessário saber as etapas totais internas da operação, o importante é conhecer as correntes de matéria que entra no sistema e deixa o sistema e saber se é gerado algum produto. Observe abaixo a equação que demonstra de forma geral o balanço de massa:

$$\text{Entra} + \text{gerado} - \text{sai} - \text{consumo} = \text{acúmulo}$$

### 4.2 Metodologia do cálculo

Os dados utilizados para os cálculos são referentes a uma usina de cana-de-açúcar no estado do Mato Grosso. Esses dados são teóricos e para se obter valores mais próximos teria que ser adotados valores de uma planta que opera desse modo. Será calculado apenas as matérias-primas principais, produtos e subprodutos. Para a realização do balanço de massa foram obtidos na literatura, os valores para a densidade da solução na dorna são de 1,05 kg/L, a operação será 24 horas e o prazo para um ciclo de fermentação é de 60 horas. Utilizando estas premissas será realizado 0,4 ciclos por dia. Será utilizado nos cálculos 8 dornas de 450m<sup>3</sup> isso significa que a fermentação começará em 3,2 por dia. Para abastecer essas dornas, é necessário 1440m<sup>3</sup> ou 1512 toneladas de massa por dia (GRIPPA, 2012).

Estas 1512 toneladas são processadas em 24 horas, portanto será processado 63 ton/horas. Na solução foi adotado 20% de sólidos secos, assim é possível encontrar a quantidade de milho necessário para a produção. O milho já possui uma pequena quantidade de água, então é necessário descobrir a quantidade de água que está presente pois os cálculos e em base seca (GRIPPA, 2012).

Foi adotado 20% de sólidos secos na solução para que a produção de bioetanol seja possível. Pode utilizar até 35% de sólidos secos, mas como os cálculos foram feitos para uma usina que utiliza cana-de-açúcar é necessário adotar uma concentração de sólidos menor porque a utilização de concentração maior a primeira coluna de destilação seria submetida a manutenção frequentemente (GRIPPA, 2012). Na Figura 12 exemplifica o processo:

**Figura 12:** diagrama do processo



**Fonte:** autor

Para encontrar a quantidade de milho que será processado por hora será utilizada a seguinte fórmula:

$$Sc = Vm \times Xas \quad (1)$$

Agora com o valor de sólidos secos é possível descobrir a quantidade de milho que será moído por hora:

$$M = Sc \times (1 + 0,14) \quad (2)$$

Com a quantidade de milho que será processada é possível encontrar a quantidade de amido presente no milho:

$$Ah = M \times Xa \times Ai \quad (3)$$

Como a levedura não consegue converter o amido, ele deve ser quebrado em pequenas cadeias formando glicose, assim é possível descobrir a quantidade de glicose que é produzido através da seguinte equação:

$$G = Ah \times Gh \times CA \quad (4)$$

Utilizando a glicose pode-se calcular a quantidade de Bioetanol produzido através da seguinte equação:

$$Et = G \times Ce \times RF \quad (5)$$

Com a glicose também é possível calcular a quantidade de CO<sub>2</sub> produzido através da seguinte equação:

$$CO_2 = G \times Cc \times RF \quad (6)$$

## CAPITULO V: RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 balanço de massa

Para a realização dos cálculos é necessário saber a composição do milho em grãos, na Tabela 2 é apresentada a composição do milho utilizado nos EUA pois não possui dados dos grãos brasileiros:

**Tabela 2:** composição do milho

substrato	%
Amido	62
Proteína	8,05
Óleo	3,65
Água	14
Fibras	8,9
Cinzas	1,19
Açúcares	2,21
Total	100

**Fonte:** (GRIPPA, 2012).

A umidade do milho comercializado no Brasil é de 14%, portanto torna válido a utilização deste valor.

Para descobrir a quantidade de milho que será processado por hora foi feito os cálculos utilizando a equação 1 e 2, os resultados estão na Tabela3:

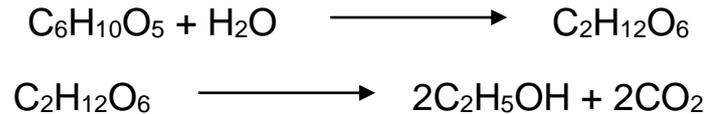
**Tabela 3:** Milho que será processado

	ton/h
Sc	12,6
M	14,364

**Fonte:** (Autor)

As dornas devem operar com carga cheia então deve completar com água para começar a fermentação. Serão necessárias 364,77 toneladas de água por dorna, portanto para as 14,364ton/h de milho é necessário 48.636ton/h de água nas etapas que antecedem a fermentação.

Com esses dados podem ser calculados a quantidade de CO<sub>2</sub> e bioetanol produzido. Para cada mol de glicose é produzido dois de bioetanol e 2 mols de CO<sub>2</sub>. As equações a seguir demonstra a reação:



Para realização dos cálculos seguintes é necessário saber alguns dados. Esses dados estão na Tabela 4:

**Tabela 4:** valores adotados para os cálculos

Amido	62%
Rendimento da fermentação	0,9
Ganho hidrolítico	1,11
Amido hidrolisável	0,965
Conversão do amido	0,97
Conversão do CO <sub>2</sub>	0,49
Conversão do Etanol	0,51

**Fonte:** (GRIPPA, 2012).

Ganho hidrolítico é o aumento da massa de glicose por causa da molécula de água que é adicionada no processo de hidrólise. Isto ocorre para cadeias com até 100 moléculas de glicose (GRIPPA, 2012).

Após passar pelos processos de destilação, centrifugas e secagem os produtos finais produzidos no processo está presente na Tabela 5:

**Tabela 5:** balanço de massa

Produto	ton/h
Etanol	4,247
CO <sub>2</sub>	4,081
DDGS	6,492
Óleo	0,190

**Fonte:** (autor)

## CAPITULO VI: CONCLUSÃO

---

O resultado geral mostra que o Brasil possui um grande potencial para a produção de bioetanol de milho. Há uma grande disponibilidade do produto principalmente na região centro-oeste do Brasil onde está localizado o estado do Mato Grosso que é o maior produtor de milho do Brasil. O Mato Grosso pode ser a porta de entrada para esse produto no Brasil pois já contam com grandes investimentos de empresas americanas e já possui algumas usinas flex.

A perspectiva é que o número de usinas flex cresça, pois as usinas de cana-de-açúcar não precisarão ficar paradas no período de entressafra pois estarão produzindo bioetanol de milho neste período.

O Brasil é hoje um dos maiores produtores de milho do mundo e enfrenta alguns problemas no armazenamento do mesmo, com a produção de etanol de milho diminuirá o problema de armazenagem e também não faltará matéria-prima. Em suma o Brasil tem um grande potencial para ser um dos maiores produtores de bioetanol de milho do mundo. A produção de bioetanol de milho no Brasil já é uma realidade e tem dado muito certo, porém ainda é pouco conhecida. O incentivo neste setor pode alavancar a economia exportando o bioetanol e seus subprodutos ao invés do cereal podendo assim aumentar a lucratividade.

Assim podemos concluir que se torna viável a utilização do milho para produção de bioetanol no período em que não pode ser realizada a colheita da cana-de-açúcar pois é uma fonte de renda, principalmente na região centro oeste onde o custo para a produção do milho é menor tornando o processo mais atrativo.

Pode-se comercializar ainda o DDGS para a produção de ração e o óleo bruto para o ramo alimentício e para a produção de biodiesel, produtos com alto valor comercial, assim aumentando ainda o faturamento com a produção de etanol de milho.

Com 1 tonelada de cana-de-açúcar é possível produzir 85 litros de bioetanol quando 1 tonelada de milho produz 374 litros. O custo para produzir o bioetanol da cana-de-açúcar sem considerar as leveduras e o processo fica em torno de R\$0,75

quanto o de milho R\$1,15. Para produzir o bioetanol a partir do milho o custo é maior, mas o milho pode ser armazenado em contrapartida a cana-de-açúcar não pode ser estocada para a época que não pode realizar a sua colheita. Sendo assim o milho é uma grande alternativa para as usinas produzirem bioetanol na entressafra, pois a procura pelo bioetanol mantém a mesma mas a oferta é menor, assim as usinas conseguem um preço melhor no seu produto.

## REFERÊNCIAS

---

CASTRO, Luciano Thomé e; NEVES, Marcos Fava; GRAY, Allan. **Incríveis Números da Indústria de Etanol Americana**. 2017. Disponível em: <[www.noticiasagricolas.com.br/artigos/artigos-geral/201016-incriveis-numeros-da-industria-de-etanol-americana.html#.W\\_YcqdtKjIU](http://www.noticiasagricolas.com.br/artigos/artigos-geral/201016-incriveis-numeros-da-industria-de-etanol-americana.html#.W_YcqdtKjIU)>. Acesso em: 22 nov. 2018.

ESALQ/USP. **As diferenças do processo de fabricação de etanol de milho e de cana**. 2017. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/cprural/noticias/mostra/4818/as-diferencas-do-processo-de-fabricacao-de-etanol-de-milho-e-de-cana-.html>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

NOVOZYMES. **O etanol de milho nos Estados Unidos**. 2017. Disponível em: <<http://www.bioblog.com.br/o-etanol-de-milho-nos-estados-unidos/>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

INMETRO. **FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS - FISPQ**. Disponível em: <[http://www.inmetro.gov.br/metcientifica/MRC/8314\\_etanol\\_combustivel.pdf](http://www.inmetro.gov.br/metcientifica/MRC/8314_etanol_combustivel.pdf)> Acesso em: 22 nov. 2018.

ZANIN, Vanclei. **A elevação do preço do milho e seus impactos**. 2016. Disponível em: <<http://carta.fee.tche.br/article/a-elevacao-do-preco-do-milho-e-seus-impactos/>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

PENA, Rodolfo F. Alves. "O que é Biocombustível?"; *Brasil Escola*. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/geografia/o-que-e-biocombustivel.htm>>. Acesso em 22 de novembro de 2018.

MANOCHIO, Carolina. **Produção de Bioetanol de cana-de-açúcar, milho e beterraba: uma comparação dos indicadores tecnológicos, ambientais e econômicos**. 2014. 35 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2014. Disponível em: <[https://www.unifalmg.edu.br/engenhariaquimica/system/files/imce/TCC\\_2014\\_1/Carolina%20Manochio.pdf](https://www.unifalmg.edu.br/engenhariaquimica/system/files/imce/TCC_2014_1/Carolina%20Manochio.pdf)>. Acesso em: 22 nov. 2018.

OLIVEIRA, Samuel. **Apostila 1 - Processo de produção de etanol de cana-de-açúcar**. Disponível em:

<<http://docente.ifrn.edu.br/samueloliveira/disciplinas/tecnologia-de-fabricacao-de-biocombustiveis/bioetanol/apostila-1-processo-de-producao-de-etanol-de-cana-de-acucar/view>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

CRUZ, Sandra Helena da. **A química do açúcar**. Disponível em: < [https://www.crq4.org.br/quimicaviva\\_acucar](https://www.crq4.org.br/quimicaviva_acucar)>. Acesso em: 22 nov. 2018.

BARROS, Talita Delgrossi. **ÁRVORE DO CONHECIMENTO**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vn102wx5eo0sawqe3djg2152.html>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

MATSUOKA, Sizuo. **Bioenergia de Cana**. 2010. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/302932714\\_Bioenergia\\_de\\_Cana](https://www.researchgate.net/publication/302932714_Bioenergia_de_Cana)>. Acesso em: 22 nov. 2018.

BNDES. **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <<http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2002>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

UBERLÂNDIA, Perfilados. **PRODUTOS**. Disponível em: <<http://www.perfiladosuberlandia.com.br/produtos.htm>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

SNTMAQUINA. **PEÇAS PARA MOINHO**. Disponível em: <<http://www.sntmaquinas.com.br/>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

FOGAÇA, Jennifer. **Amido**. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/amido.htm>>. Acesso em: 05 nov. 2018

PEREIRA, Willian Victor de Souza. **USINA FLEX DE ETANOL: ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DO MILHO NA ENTRESSAFRA DA CANA-DEAÇÚCAR**. 2017. Disponível em: <[http://www.agn.ufv.br/wp-content/uploads/2017/08/TCC\\_usina\\_flex.pdf](http://www.agn.ufv.br/wp-content/uploads/2017/08/TCC_usina_flex.pdf)>. Acesso em: 22 nov. 2018.

LOPES, Cláudio Hartkopf; GABRIEL, Afra Vital Matos Dias; BORGES, Maria Teresa Mendes Ribeiro. **Produção de etanol a partir da cana-de-açúcar: tecnologia de produção de etanol**. São Carlos: Uab-ufscar, 2011.

GRIPPA, Mario José Cacho. **PLANTA FLEX NO MATO GROSSO**. 2012. 63 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós-graduação Mba – Gestão do Agronegócio, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

CEPA. **IMPACTOS AMBIENTAIS**. Disponível em: <<http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia2000/turmaA/grupo6/IMPACTOS.HTM>>. Acesso em: 29 nov. 2018.

CASEMG. **Limpeza de Grãos**. Disponível em: <Limpeza [http://www.casemg.gov.br/index.php/servicos/limpeza-de-graos/e Grãos](http://www.casemg.gov.br/index.php/servicos/limpeza-de-graos/e-Gr%C3%A3os)>. Acesso em: 27 nov. 2018.

BRASIL, Nilo Indio do. **Introducao à engenharia quimica**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

MATSUOKA, Sizuo. **Bioenergia de Cana**. 2010. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/302932714\\_Bioenergia\\_de\\_Cana](https://www.researchgate.net/publication/302932714_Bioenergia_de_Cana)>. Acesso em: 22 nov. 2018.