

**Universidade de Brasília - UnB**  
**Faculdade UnB Gama - FGA**  
**Curso de Engenharia de Energia**

**AVALIAÇÃO DAS INFLUÊNCIAS CLIMÁTICAS NA  
PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DA CANA-DE-  
AÇÚCAR**

**Autor: Tuane Thaís Arruda Fonseca**  
**Orientador: Roseany de Vasconcelos Vieira Lopes**

**Brasília, DF**  
**2016**



**TUANE THAÍS ARRUDA FONSECA**

**AVALIAÇÃO DAS INFLUÊNCIAS CLIMÁTICAS NA PRODUÇÃO DE  
ETANOL A PARTIR DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientadora: Dra. Roseany de Vasconcelos Vieira Lopes

**Brasília, DF**

**2016**

## **CIP – Catalogação Internacional da Publicação**

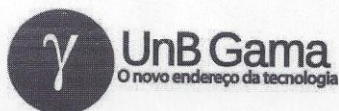
Arruda Fonseca, Tuane Thaís.

Avaliação das Influências Climáticas na Produção de Etanol a partir da Cana-de-açúcar/Tuane Thaís Arruda Fonseca. Brasília: UnB, 2016. 56p.: il.; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília  
Faculdade do Gama, Brasília, 2016. Orientação: Roseany de Vasconcelos Vieira Lopes.

1. Cana-de-açúcar. 2. Etanol. 3. Fatores Climáticos. I. Vasconcelos Vieira Lopes, Roseany. II. Doutora.

CDU Classificação



**AVALIAÇÃO DAS INFLUÊNCIAS CLIMÁTICAS NA PRODUÇÃO DE  
ETANOL A PARTIR DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**Tuane Thaís Arruda Fonseca**

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em (10/02/2015) apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

*Roseany V.V. Lopes*

Prof. Dra: Roseany de Vasconcelos Vieira Lopes, UnB/FGA

Orientadora

*Augusto César de Mendonça Brasil*

Prof. Dr: Augusto César de Mendonça Brasil, UnB/FGA

UNB/FGA

*Marcelo Bento da Silva*

Prof. Dr: Marcelo Bento da Silva, UnB/FGA

UNB/FGA

Brasília, DF

2016

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, e aos meus pais pelo imenso apoio e amor. Sou um ser humano melhor pelos ensinamentos que me concederam desde sempre.

Dedico também aos meus avós que me apoiaram desde o dia em que mudei da cidade para cursar Engenharia.

Ao meu namorado Natan Alberto Miranda Silva pelo companheirismo e dedicação.

À professora Dra. Roseany de Vasconcelos Vieira Lopes, pelos ensinamentos e confiança em me orientar nesse trabalho.

À empresa Jalles Machado S/A pelos dados disponibilizados, em especial aos funcionários Leandro Palma, Joel de Jesus e todos que compõe o quadro de trabalho do laboratório industrial pela paciência e ensinamentos.

Por fim, agradeço a todos que confiaram na minha formação e que colaboraram para realização desse trabalho.

## RESUMO

Desde o advento do Proálcool e com as crises do petróleo, o incentivo à produção de etanol tem-se tornado alvo de investimento de empresários no território brasileiro. Com o tempo o aperfeiçoamento dos processos industriais e as novas tecnologias proporcionaram aumento na produtividade e lucros para o setor. A adequação da cultura da cana-de-açúcar no Brasil e a característica sustentável do etanol contribuíram para que 40 % da matriz energética brasileira seja renovável. A eficiência dos processos produtivos da indústria sucroalcooleira é um dos principais objetivos das empresas do setor energético. Dessa forma, os fatores que influenciam negativamente na conversão da cana-de-açúcar em etanol são alvo de estudo das empresas interessadas na otimização da produção, redução de custos e melhorias durante as etapas do processo. Os fatores climáticos interferem na conversão da sacarose, principal açúcar da cana, em produto final e prejudicam o rendimento do etanol no balanço final de perdas da produção. Dessa forma as análises laboratoriais disponibilizadas pela Unidade Otávio Lage das safras 2014/2015 e 2015/2016 em comparação com os dados meteorológicos verificados durante o período das safras identificaram a relação entre a precipitação acumulada e temperatura média e algumas perdas no processo industrial. Durante o período de maturação da cana-de-açúcar na safra de 2015/2016 ocorreram índices elevados de chuva o que pode ter contribuído para a redução dos rendimentos industriais em relação à safra de 2014/2015.

**Palavras-chave:** cana-de-açúcar, etanol, fatores climáticos.

## ABSTRACT

Since the advent of *Proálcool* and the oil crisis, encouraging the production of ethanol has become entrepreneurs investment target in Brazil. Over time the improvement of industrial processes and new technologies have provided increased productivity and profits for the sector. The adequacy of the culture of sugarcane in Brazil and the sustainable ethanol characteristic contributed to 40% of the Brazilian energy matrix is renewable. The efficiency of the production processes of the sugar industry is one of the main objectives of the companies in the energy sector. Thus, the factors that influence negatively the conversion of sugarcane into ethanol are the subject of study of companies interested in production optimization, cost reduction and improvements during the process steps. Climatic factors influence the conversion of sucrose, the main sugar cane, in the final product and impair the performance of ethanol in the final balance of the production losses. Thus laboratory tests provided by Otavio Lage Unit of crops 2014/2015 and 2015/2016 compared with meteorological data recorded during the period of the crops identified the relationship between the accumulated precipitation and average temperature and some losses in the industrial process. During the maturation period of sugarcane in the 2015/2016 harvest there were high levels of rain that may have contributed to the reduction of industrial income in relation to the harvest of 2014/2015.

**Keywords:** sugarcane, ethanol, climatic factors.

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

- % v/v – porcentagem volume por volume
- % m/m – porcentagem massa por massa
- °C – grau Celsius
- °GL – grau Gay Lussac
- °INPM – Instituto Nacional de Pesos e Medidas
- μS/m – micro siemens por metro
- ADP – adenosina difosfato
- AR – açúcares redutores
- ART – açúcares redutores totais
- ASTM – *American Society for Testing and Materials*
- atm – atmosfera (unidade de pressão)
- ATP – trifosfato de adenosina
- B<sub>1</sub> – volume do balão volumétrico
- BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento
- CO<sub>2</sub> – gás carbônico
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
- KG\_ART\_CP – quilograma de ART na cana processada
- KG\_ART\_Prod – quilograma de ART nos produtos da cana-de-açúcar processada
- KG\_CP – quilograma de cana processada
- L\_E – litros de etanol produzido
- L\_EC – litros de etanol produzido a partir da cana processada
- m – quantidade de mosto presente na solução
- MAPA – órgão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
- mL – mililitro
- mm - milímetro
- mmHg – milímetro de mercúrio
- N – normalidade exata
- NADH – nicotinamida adenina dinucleotídeo
- OH – hidroxila
- P<sub>1</sub> – massa inicial de mosto
- pH – potencial hidrogeniônico



Pi – fosfato inorgânico  
PRO – produtividade industrial  
Prod – quantidade de produto  
RE – rendimento de etanol  
rpm – rotações por minuto  
S/A – sociedade autônoma  
t cana – tonelada de cana  
t\_açúcar – tonelada de açúcar produzido  
u.m.a – unidade de massa atômica  
U\_A – unidade de área  
V<sub>1</sub> – volume do material do balão volumétrico  
V<sub>A</sub> – volume total da amostra de pé-de-cuba  
V<sub>Gart</sub> – volume gasto na titulação  
VGart – volume gasto na titulação  
V<sub>L</sub> – volume decantado de levedo

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura da sacarose.....	6
Figura 2 - Fluxograma simplificado da produção de etanol e açúcar.....	7
Figura 3 - Processo fermentativo Melle-Boinot .....	10
Figura 4 – Reação de inversão da sacarose .....	12
Figura 5 - Fermentação alcoólica .....	13
Figura 6 - Sequência da fermentação alcoólica. ....	14
Figura 7 – Composição da cana-de-açúcar. ....	17
Figura 8 – Precipitação e temperatura: safra 2014/2015. ....	39
Figura 9 – Precipitação e temperatura: safra 2015/2016. ....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades físico-químicas do etanol.....	5
Tabela 2 - Composição dos Tubos de Ensaio .....	27
Tabela 3 – Leitura do equipamento espectrofotômetro .....	28
Tabela 4 – Composição dos tubos de ensaio .....	32
Tabela 5 – Análises referentes ao mosto. ....	40
Tabela 6 - Análises referentes ao pé de cuba.....	41
Tabela 7 – Análises referentes ao vinho a centrifugar.....	41
Tabela 8 - Análises referentes ao vinho centrifugado.....	42
Tabela 9 - Análises referentes a destilaria .....	42
Tabela 10 - Análises referentes a qualidade do etanol .....	43
Tabela 11 - Rendimentos industriais .....	44

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS .....</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>xiv</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xv</b>
<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>xvi</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	1
1.2 OBJETIVOS .....	2
<b>1.2.1. Objetivo Geral .....</b>	<b>2</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
2.1. BREVE HISTÓRICO .....	3
2.2. ETANOL.....	4
2.2.1. Produção de Etanol .....	6
2.2.1.1. Fermentação .....	9
2.2.1.2. Destilação.....	11
2.2.1.3. Desidratação.....	11
2.3. PROCESSO BIOQUÍMICO DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA .....	12
2.4. O CLIMA E A PRODUÇÃO ALCOOLEIRA.....	14
2.5. ANÁLISES LABORATORIAIS NA INDÚSTRIA ALCOOLEIRA .....	15
2.5.1. Análises Físico-Químicas e Microbiológicas: Monitoramento da Fermentação Alcoólica.....	16
2.5.1.1. Composição tecnológica da cana-de-açúcar .....	16
2.5.1.2. Brix.....	17
2.5.1.3. Fibra .....	17
2.5.1.4. Umidade .....	17
2.5.1.5. Sacarose.....	17
2.5.1.6. Pol .....	18
2.5.1.7. Açúcares Redutores .....	18
2.5.1.8. Açúcares Redutores Totais .....	18
2.5.1.9. Pureza .....	19
2.5.1.10. Fósforo .....	19
2.5.1.11. Grau Alcoólico .....	19
2.5.1.12. Produtividade.....	20
2.5.1.13. Rendimento .....	20
2.5.1.14. Eficiência.....	21
<b>3. EXPERIMENTAL .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1. ANÁLISES LABORATORIAIS NA FABRICAÇÃO DO ETANOL .....</b>	<b>22</b>
3.2. ANÁLISE DO MOSTO .....	22

3.2.1.	Procedimento de Coleta.....	22
3.2.2.	Brix.....	22
3.2.3.	PH.....	23
3.2.4.	Acidez Sulfúrica .....	23
3.2.5.	ART.....	24
3.2.5.1.	Determinação do ART.....	24
3.2.6.	Pol .....	25
3.3.	ANÁLISE DO PÉ DE CUBA .....	26
3.3.1.	Procedimento de Coleta.....	26
3.3.2.	pH.....	26
3.3.3.	Teor de leveduras no fermento .....	26
3.3.4.	Glicerol.....	27
3.4.	ANÁLISE DO VINHO A CENTRIFUGAR.....	28
3.4.1.	Procedimento de Coleta.....	28
3.4.2.	pH.....	29
3.4.3.	Teor de levedo .....	29
3.4.4.	°GL: Teor alcoólico.....	29
3.4.4.1.	Destilação da amostra de vinho a centrifugar .....	29
3.4.4.2.	Determinação do °GL.....	30
3.4.5.	ART.....	31
3.4.5.1.	Determinação do ART.....	31
3.4.6.	Acidez sulfúrica.....	32
3.4.7.	Viabilidade celular .....	33
3.4.8.	Brotamento .....	34
3.4.9.	Glicerol.....	34
3.5.	VINHO CENTRIFUGADO .....	35
3.5.1.	Procedimento de Coleta.....	35
3.5.2.	Teor de leveduras .....	35
3.5.3.	°GL: Teor alcoólico.....	35
3.6.	DESTILARIA .....	35
3.6.1.	Procedimento de Coleta.....	35
3.6.2.	°GL: Vinhaça.....	35
3.6.3.	°GL: Flegmaça .....	36
3.7.	QUALIDADE DO ETANOL.....	36
3.7.1.	Procedimento de Coleta.....	36
3.7.2.	Teor alcoólico: álcool hidratado .....	36
3.7.3.	Acidez acética: álcool hidratado.....	36
3.7.4.	Condutividade .....	37
3.7.5.	pH.....	37
3.8.	ACÚMULO DE CHUVA E TEMPERATURA MÉDIA DURANTE O PERÍODO DE SAFRA .....	38
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>40</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>45</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>46</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é líder mundial na produção da cana-de-açúcar, seguido de países com tradição nessa cultura, como Índia e China. Na safra 2015/2016 a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar apresentou um acréscimo de 1,9% em relação à safra anterior, com a produção total registrada em dezembro de 2015 de 29,21 bilhões de litros de etanol (CONAB, 2015).

O incentivo recente à produção do etanol no Brasil auxilia no fortalecimento do setor canavieiro, alternativas como o aumento dos impostos sobre a gasolina, a manutenção de impostos reduzidos sobre o etanol, e ainda o aumento da porcentagem do etanol anidro de 25% para 27% na composição da gasolina comum, mantem o preço do etanol favorável ao seu uso em relação à gasolina (FAO, 2015).

A matriz energética brasileira possui uma parcela de 39,4% de fontes renováveis em contrapartida de 13,8% da matriz mundial. O etanol, junto com o bagaço da cana-de-açúcar, ocupa aproximadamente 15,8% na matriz energética brasileira. Dessa forma, os estímulos para a produção do etanol são de interesse para o país, visto que o biocombustível é uma alternativa renovável frente aos combustíveis fósseis (MME, 2015).

### 1.1 JUSTIFICATIVA

Em uma indústria sucroalcooleira a produtividade e o rendimento são parâmetros fundamentais para a avaliação de perdas e eficiência do processo. A qualidade da matéria-prima reflete no desempenho dos processos de fabricação do etanol e diretamente na qualidade do produto final (SANTOS *et al.*, 2013).

Segundo Figueiredo *et al.*, (2008), os efeitos climáticos influenciam na qualidade da cana-de-açúcar, propiciando ou não o acúmulo de sacarose nos colmos da planta, durante o período de amadurecimento. Altos índices pluviométricos aumentam a quantidade de impurezas e minimizam os rendimentos durante o processo produtivo da fabricação do etanol (AMORIM; LEÃO, 2005).

Na indústria sucroalcooleira o acompanhamento minucioso do processo industrial minimiza a influência de fatores que afetem a produção de etanol, a exemplo, dos fatores climáticos. A redução das perdas e novas alternativas que aprimoram a conversão da matéria-prima em produto final, são alvos de constantes análises em laboratórios industriais

e possibilitam também a redução de custos e aumento de produção (PASCHOALINI; ALCARDE, 2009).

O presente trabalho, portanto, aborda o acompanhamento das influências climáticas no processo produtivo do etanol a partir da cana-de-açúcar, identificando as perdas envolvidas na produtividade e no rendimento do etanol. As análises laboratoriais da indústria sucroalcooleira contribuirão para determinação de perdas e qualidade do etanol produzido.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo a avaliação das influências climáticas no processo de produção do etanol a partir da cana-de-açúcar, com base nas análises laboratoriais industriais da Unidade Otávio Lage, filial da empresa Jalles Machado S/A.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Análise dos dados meteorológicos no município de Goianésia durante o período de safras 2014/2015 e 2015/2016 da Unidade Otávio Lage;
- Apresentação da metodologia de algumas análises laboratoriais realizadas no laboratório industrial da Unidade Otávio Lage;
- Estudo do comportamento das análises laboratoriais durante o processo de produção do etanol;
- Comparação entre os dados meteorológicos e as análises laboratoriais durante o período das safras 2014/2015 e 2015/2016.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. BREVE HISTÓRICO

O primeiro choque mundial do petróleo em 1973 afetava diretamente o Brasil devido a dependência nacional em relação ao petróleo. A elevação do preço do barril de petróleo pelo Oriente Médio se deu devido ao conflito árabe-israelense, com a Guerra do Yom Kippur, o que proporcionou a quadruplicação do preço do insumo. Nesse período 80% do petróleo utilizado em território brasileiro advinha do exterior (SANTANA, 2006).

Com a importação dispendiosa do petróleo para os cofres brasileiros, face à queda do preço do açúcar no mercado externo em 1974, o governo brasileiro com a gestão de Ernesto Geisel impulsionou o incentivo à produção do etanol, com a criação em 1975 do Programa Nacional do Álcool, o Proálcool. A diversificação da produção açucareira e o estímulo para a autonomia energética eram os objetivos principais do programa federal, administrado pelo Ministério da Indústria e Comércio. (AMORIM; LEÃO, 2005).

Na primeira fase do Proálcool, que foi de 1975 a 1979, foi prevista a produção de três bilhões de litros de álcool, tanto para o uso comercial, industrial quanto para a adição à gasolina. A modernização das usinas de açúcar foi substancial para implementação da primeira fase, já que o álcool era tratado como um subproduto da fabricação do açúcar. Para tanto, o governo disponibilizou apoio financeiro para implantação de destilarias anexas às usinas de açúcar já existentes, e para usinas autônomas. Os incentivos foram repassados para os Estados com tradição na produção do açúcar, a exemplo de São Paulo, como também para outros Estados sem tradição agroindustrial com a cana-de-açúcar, como Mato Grosso do Sul (SOUZA V. F., 2014).

Em 1979 com o apoio governamental para a fabricação de automóveis movidos a álcool, ocorreu um acréscimo na produção das destilarias. Os subsídios do governo brasileiro colaboraram para a concorrência leal do álcool combustível em relação à gasolina, o que favoreceu a prevalência de veículos exclusivamente a álcool. A frota nacional de carros a álcool chegou a 92% nesse período (AMORIM; LEÃO, 2005). A redução dos impostos na compra dos carros a álcool, o preço e a disponibilidade dos combustíveis, favoreciam a preferência do álcool no território brasileiro (TONIN; MATHEUS TONIN, 2014).

O segundo choque do petróleo ainda em 1979 proporcionou além da elevação do preço do barril do petróleo a escassez do insumo no mercado internacional, isso devido ao declínio da produção do petróleo associado ao conflito político-religioso, entre Irã e Iraque. Nesse cenário



iniciava-se a segunda fase do Proálcool, entre 1980 e 1985, onde o objetivo era alcançar a produção de 10,7 bilhões de litros de álcool. Os financiamentos governamentais persistiram nessa fase e os investimentos em destilarias autônomas intensificaram-se para o aumento da produção do álcool (AMORIM;LEÃO, 2005).

A partir de 1986 os subsídios para a produção do álcool foram limitados e a decadência do Proálcool se instalava no Brasil. Apesar do programa ter alcançado as metas propostas, o corte dos recursos para investimentos do Proálcool ocorreu devido à inflação e a crise financeira no país. Em 1988 o preço do barril do petróleo começou a cair no mercado externo paralelamente ao aumento do preço do açúcar e como consequência a manutenção do Proálcool tornou-se instável (KOHLHEPP, 2010).

O Proálcool trilhou nesse período, um caminho de recessão, os investimentos destinados ao setor sucroalcooleiro foram reduzidos, o que provocou o abatimento na produção do álcool. Em 1989 o aumento do preço do combustível e a indisponibilidade do produto no cenário nacional eram visíveis, ao ponto dos automóveis movidos à gasolina começarem a retornar ao mercado brasileiro (AMORIM; LEÃO, 2005). Segundo Kohlhepp (2010), em 1990 a produção de veículos com motores movidos exclusivamente a álcool foi suspensa.

Em 1994 com a implementação do Plano Real o controle da inflação se iniciava e a abertura do mercado nacional para importações de álcool causou um novo desgaste ao setor sucroalcooleiro. Ocorreu nesse período a superprodução de álcool no Brasil, provocando a queda no preço do mesmo. Já em 1997 o incentivo governamental em relação ao álcool anidro, adicionado à gasolina, foi cessado e por consequência o preço da gasolina sofreu um aumento de 5,39% nas bombas dos postos de combustível (AMORIM; LEÃO, 2005).

Após o advento do protocolo de Kyoto, o setor canavieiro atuou com algumas alternativas, como forma de promover o resgate econômico para o setor, tais como: a liberação dos preços do açúcar e do álcool, o aumento da exportação do açúcar, a inserção dos automóveis *flex fuel*, movidos à gasolina e a álcool hidratado, o processo de desregulamentação do Estado para cadeias produtivas, e a exportação mundial do álcool, com apoio do BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento) (OHASHI, 2008).

## 2.2.ETANOL

O etanol é um composto orgânico de fórmula molecular  $C_2H_5OH$ , é um líquido límpido e incolor, possui alta volatilidade, é inflamável, possui chama de cor azulada e odor ardente característico. Proveniente da fermentação de açúcares disponíveis em matéria-prima vegetal e

consequente destilação, o etanol possui inúmeras aplicações, que vão de anti-congelante, produção de bebidas, matéria-prima na indústria farmacêutica, solvente ao etanol combustível. Tem por característica ser solúvel em substâncias minerais e orgânicas, enquanto desidratado. Por outro lado, à medida que o teor de água aumenta, a capacidade de solubilidade do composto diminui (DE SOUZA JR, 2007) (SANTOS *et al.*, 2013).

Na química orgânica, o etanol integra a família dos álcoois, que tem por característica possuir o grupo funcional hidroxila (-OH), associado ao carbono saturado da cadeia de hidrocarbonetos da substância (DE SOUZA JR, 2007). O grupo hidroxila propicia por meio das ligações de hidrogênio as interações intermoleculares. Algumas características físico-químicas do composto são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1** - Propriedades físico-químicas do etanol.

Fórmula molecular	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH
Peso molecular	46 u.m.a.
Peso específico (20°C)	0,7894 g/mL
pH	6 – 7
Densidade API	47,1
Temperatura de ebulição (1 atm)	78,32°C
Temperatura de fusão (1 atm)	-117,22°C
Temperatura de auto-ignição	793°C
Temperatura de inflamabilidade	12°C
ponto de congelamento	-114,1°C
Limite de estabilidade	300°C
Tensão de vapores (0°C)	12,00 mmHg
(20°C)	44,0 mmHg
Octanagem (ASTM)	99
Índice de cetano	10
Razão ar:combustível	9,0:1,0

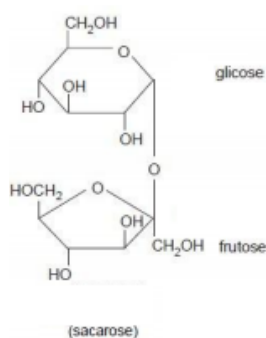
Fonte: (DE SOUZA JR, 2007) (PEREIRA;DE ANDRADE, 1998)

### 2.2.1. Produção de Etanol

Desde a modernização das usinas açucareiras para a produção industrial do etanol, são observados os avanços tecnológicos no setor sucroalcooleiro. Os progressos do setor são representados pela liderança brasileira na produção da cana-de-açúcar, açúcar e de etanol, e no domínio do ciclo da produção de etanol, que vai das lavouras às destilarias, e representam a base tecnológica deste segmento agroindustrial (WISSMANN *et al.*, 2014).

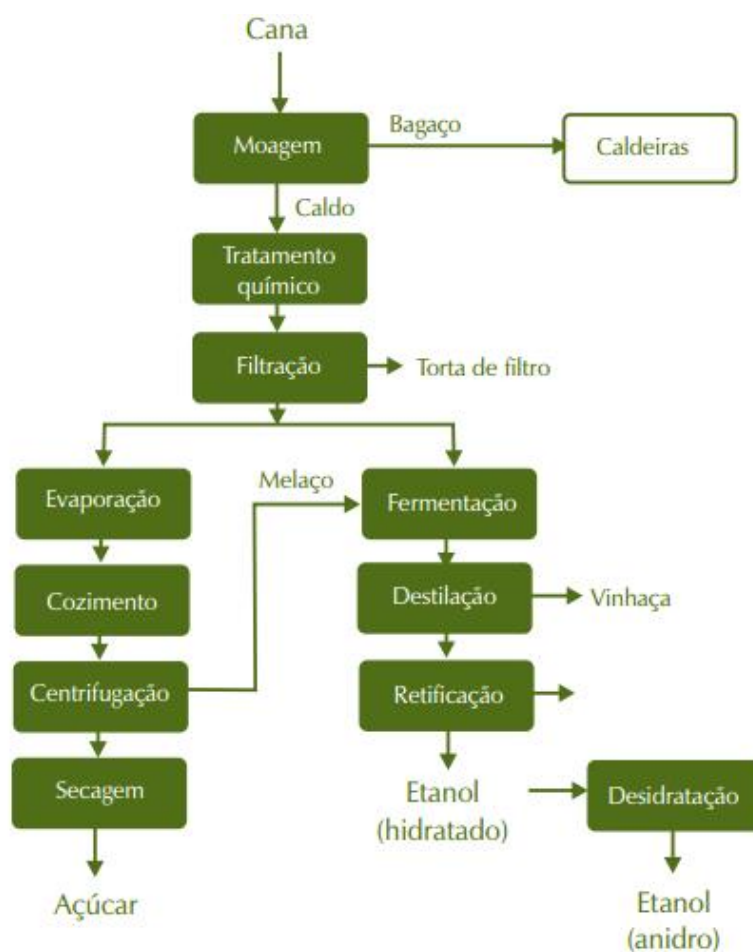
A fermentação é o principal processo químico onde se fundamenta a produção de etanol no Brasil, e em demais países, como nos EUA. A rota tecnológica fermentativa é predominante devido à disponibilidade de matéria-prima e seu caráter econômico. As matérias-primas utilizadas variam entre amiláceas, como grãos, raízes e tubérculos, e açucaradas, como beterraba e cana-de-açúcar (SANTOS *et al.*, 2013).

A cana-de-açúcar é uma planta da família Poaceae, classe monocotileonea e gênero *Saccharum*. Considerada uma gramínea tropical, a cana-de-açúcar é a principal matéria-prima para a produção do etanol no Brasil, devido à adaptação da espécie ao clima brasileiro, e a tradição no cultivo da cultura (SANTOS *et al.*, 2013). A fermentação do caldo extraído da cana-de-açúcar para a obtenção do etanol só é possível, devido a presença da sacarose, Fig. (1), um glicídio composto por uma molécula de glicose e uma de frutose, formando um dissacarídeo, por meio de uma ligação glicosídica. (MANOCHIO, 2014) (NASCIMBENI, 2013). A produtividade nacional da fabricação de etanol a partir da cana-de-açúcar, varia em média em 6 mil litros de etanol por hectare (MAPA, 2007).



**Figura 1** - Estrutura da sacarose. Fonte: (NASCIMBENI, 2013)

O modelo para o processo de produção de etanol a partir da cana-de-açúcar segue um roteiro geral de execução, caracterizando-se pela semelhança das etapas iniciais de produção do açúcar, com algumas variações entre empresas, como mostrado na Figura 2.



**Figura 2** - Fluxograma simplificado da produção de etanol e açúcar. Fonte: (NOGUEIRA *et al.*, 2008)

Após a colheita da cana, o transporte da matéria-prima é realizado para a unidade produtora de etanol, que em seguida realiza a pesagem da cana em uma balança. (NOGUEIRA *et al.*, 2008). A cana advinda do corte manual passa por um processo de lavagem, onde é realizada a higienização para retirada de impurezas minerais e vegetais. No entanto, quando a cana se origina do corte mecanizado a lavagem não é realizada, isso porque a planta chega do campo picada e sujeita à perda de sacarose, caso entre em contato com água de lavagem. Um recurso é a lavagem a seco, onde jatos de ar são ministrados na matéria-prima (SANTOS *et al.*, 2013).

Já na mesa de alimentação, a cana segue para o processo de extração do caldo. Nessa fase a matéria-prima segue em uma esteira em direção a um sistema de corte composto por facas rotativas, que tem o papel de padronizar o corte da cana para que a mesma passe pelo

desfibrador. Nesse equipamento, as fibras da cana são fragmentadas por intermédio de um rotor com martelos acoplados, com o intuito de aumentar a eficiência da extração do caldo nas moendas ou nos difusores (NOGUEIRA *et al.*, 2008).

A indústria sucroalcooleira brasileira opta tradicionalmente pelo uso das moendas, devido ao processo dos difusores ser dispendioso, pois há necessidade de se realizar diversas lavagens na cana. As moendas são máquinas que impõem um esforço mecânico sobre a cana-de-açúcar, composta por ternos a moenda realiza extração do caldo por prensagem, com auxílio de rolos (RIBEIRO *et al.*, 1999).

O fluxo de cana que é direcionado para a moenda é controlado pelo chute Donelly, uma calha que tem por função alimentar o equipamento com cana fragmentada. As moendas geralmente são compostas de 4 à 7 ternos em sequência, devido a necessidade de se extrair o máximo de caldo possível da cana, e com o intuito de realizar a separação do bagaço residual, que se forma no processo. No entanto, apenas a passagem pelos ternos não garante a extração completa e eficiente do caldo, sendo fundamental realizar o procedimento de embebição, que tem por finalidade a diluição do açúcar detido na cana, por meio da umidificação do caldo, ou seja, da aplicação de água (NOGUEIRA *et al.*, 2008).

No final da moagem é obtido além do caldo misto para a produção de etanol, o bagaço, que é utilizado nas unidades produtoras como combustível para a caldeira a vapor. A queima do bagaço garante a manutenção das necessidades de vapor e energia elétrica do processo de produção de etanol, e em algumas unidades à cogeração de energia é realizada (SANTOS *et al.*, 2013).

A próxima etapa do processo de produção do etanol é o tratamento do caldo misto, sendo fundamental devido ao número de impurezas encontradas no mesmo, após sua extração. As peneiras são utilizadas inicialmente para a retirada de impurezas minerais e vegetais, como o bagacilho, e na continuação do processo, é realizado um tratamento químico que objetiva a remoção de impurezas restantes por meio da sedimentação (NOGUEIRA *et al.*, 2008).

Após a sedimentação das impurezas o caldo misto passa por aquecimento a fim de eliminar gases por meio de auto ebulição, nos balões flash. A correção do pH é realizada com calagem, adição de leite de cal no caldo, que favorece a remoção de impurezas coloidais devido a floculação proporcionada pelo leite de cal. Logo após o caldo segue para tanques de decantação com o intuito da separação gravimétrica de impurezas, visando o mínimo de perdas

possíveis. O processo dura em média 3 horas e tem como produto final desta etapa o caldo clarificado e o lodo (RIBEIRO *et al.*, 1999).

Resquícios de caldo ainda são percebidos no lodo, por esse motivo ocorre o processo de filtração desse subproduto da decantação, visando o resgate do máximo de caldo possível do lodo. Como resultado da filtração do lodo, obtém-se o caldo filtrado e a torta de filtro, o primeiro retorna ao processo sendo adicionado ao caldo misto, já a torta de filtro é utilizada como fertilizante para a lavoura (RIBEIRO *et al.*, 1999).

Em unidades onde a produção do etanol é associada à fabricação do açúcar, as primeiras etapas do processo de produção são semelhantes, distinguindo-se a partir do caldo tratado, que ao invés de seguir para a fermentação, é enviado a evaporadores. Na evaporação o caldo é concentrado e segue para cozedores onde a cristalização da sacarose é realizada de forma parcial, devido à formação do mel, uma solução rica em sacarose que pode retornar ao processo de cozimento para a recuperação máxima de açúcar (SANTOS *et al.*, 2013).

As etapas finais para a obtenção do açúcar são a centrifugação, de onde é retirado o melaço que é matéria-prima para a fermentação, e a secagem, na qual a umidade do açúcar é reduzida por meio de resfriamento simultâneo. Essa última etapa é fundamental para que o armazenamento do açúcar seja possível, sem danos ao produto (SANTOS *et al.*, 2013).

#### 2.2.1.1. Fermentação

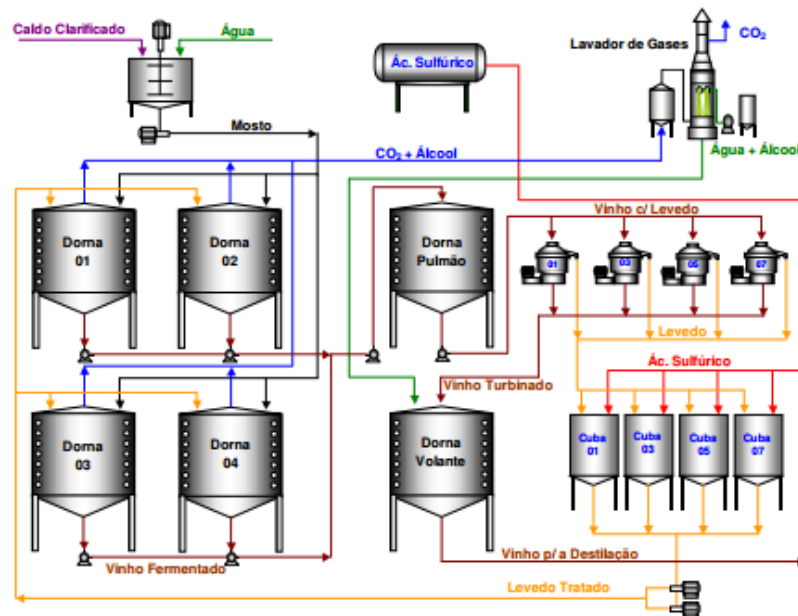
O processo de fermentação atua na conversão dos açúcares presentes no caldo tratado ou no mosto, para a obtenção do etanol. A diferença é que uma unidade que produz somente etanol usa o caldo tratado para a fermentação, já uma unidade produtora de açúcar e etanol realiza a preparação do mosto. Caracteriza-se por ser uma suspensão açucarada de caldo clarificado e de melaço, que é um subproduto da fábrica de açúcar e é fruto da evaporação e cozimento do caldo (NOGUEIRA *et al.*, 2008).

A próxima etapa é a adição do mosto ou caldo tratado às dornas (tanques) de fermentação, onde é realizada a inserção de microrganismos, que habitualmente são leveduras da espécie *Saccharomyces cerevisiae* (DE SOUZA JR, 2007). As condições de operação da levedura são rigorosas como resistência à acidez, pH, estabilidade genética, velocidade de fermentação, temperatura, preservação de nutrientes, e refletem na conversão dos açúcares em gás carbônico e etanol, ou seja, na ação adequada das leveduras (RIBEIRO *et al.*, 1999).

Os agentes contaminantes presentes na fermentação, como bactérias, são nocivos à produtividade e rendimento, devido à competição direta com as leveduras, e ainda na

possibilidade da ocorrência de leveduras selvagens. Para o controle desses contaminantes é necessário que sejam ministrados produtos químicos, como anti-sépticos, antibióticos e ácido sulfúrico, além da garantia de fatores de operação como temperatura entre 32°C e 34°C, pH ácido entre 4.5-5.0, tratamento do caldo apropriado, bem como a qualidade da matéria-prima e da levedura (RIBEIRO *et al.*, 1999).

O período de fermentação varia de acordo com a capacidade volumétrica da dorna, geralmente de 6 a 10 horas, gerando o produto final dessa etapa, o vinho levedado, que possui entre 7% a 10% de álcool. Tradicionalmente no Brasil é adotado o processo de fermentação Melle-Boinot, que caracteriza-se pela recuperação da levedura presente no vinho, por meio de centrifugação (NOGUEIRA *et al.*, 2008). A Figura 3 apresenta o processo Melle-Boinot que é conduzido em regime de batelada.



**Figura 3** - Processo fermentativo Melle-Boinot. Fonte: (DE CASTRO, 2011)

Posterior a centrifugação obtém-se o leite de levedura que retorna ao processo de fermentação após tratamento com ácido sulfúrico e adição de água, e o vinho delevedurado segue para as colunas de destilação. Em algumas indústrias uma fração do leite de levedura passa por desidratação e é comercializado como ração animal, já que a levedura seca possui proteínas (CHIEPPE JÚNIOR, 2012).

### 2.2.1.2. Destilação

A destilação realiza a separação de componentes presentes em uma mistura por meio da volatilidade relativa. Derivado da fermentação, o vinho é composto por elementos voláteis como álcool etílico, aldeídos, água, ácido acético, e elementos fixos como bactérias e extrato do mosto, sendo necessária a separação do álcool dessas demais substâncias. Para tanto, o diferente ponto de ebulição entre essas substâncias possibilitam o processo de destilação (CHIEPPE JÚNIOR, 2012).

Denominada epuração, a primeira etapa da destilação ocorre geralmente em duas colunas de destilação e consiste na purificação do vinho por meio de eliminação de impurezas. Nessa etapa a primeira coluna faz o processo do esgotamento do vinho, onde retiram-se o flegma na parte superior e a vinhaça na parte inferior da coluna. A segunda coluna recebe o flegma e tem como objetivo o enriquecimento e retificação da mesma, nessa coluna o produto de fundo é a flegmaça, já o produto de topo é o etanol hidratado com cerca de 92,8 a 94,7 °INPM<sup>1</sup> (SANTOS *et al.*, 2013).

A vinhaça, um resíduo tipicamente aquoso não possui teor alcoólico significativo para a destilação, sendo empregada na fertirrigação das lavouras. Já a flegmaça pode ser adicionada a vinhaça ou ainda retornar ao processo na primeira coluna de destilação (RIBEIRO *et al.*, 1999). Ainda na retificação o óleo fúsel é recuperado e caracteriza-se por ser uma mistura concentrada das impurezas do flegma, diferente da flegmaça que caracteriza-se por ser aquoso (CHIEPPE JÚNIOR, 2012).

### 2.2.1.3. Desidratação

O etanol hidratado obtido na coluna de retificação é um composto azeótropo, que não pode ser separado da água por destilação convencional, sendo necessário associar ao processo algum método que proporcione o fracionamento da mistura azeotrópica. Para tanto, o etanol hidratado segue para uma coluna de desidratação, onde é submetido a um processo físico-químico, por meio da adição do cicloexano (NOGUEIRA *et al.*, 2008).

No Brasil a tecnologia disseminada para a desidratação é a adição de cicloexano, devido ao baixo custo, no entanto a desidratação também é realizada por meio de outras metodologias, como a adsorção com peneiras moleculares, entre outras tecnologias que caracterizam-se pelo

---

<sup>1</sup> °INPM é uma sigla correspondente a Instituto Nacional de Pesos e Medidas e indica o grau alcoólico mássico. Em uma mistura hidroalcoólica representa a relação (massa/massa) do teor de etanol (FERNANDES, 2011).



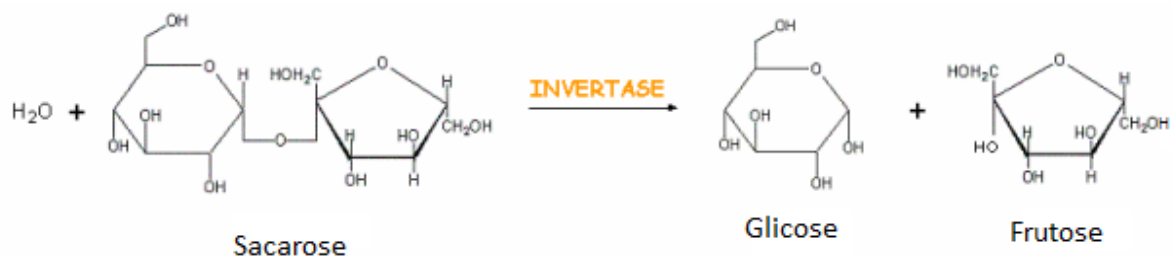
custo de implantação e operação elevados. Com a adição do cicloexano é formada uma mistura azeotrópica ternária que possui ponto de ebulição inferior ao do etanol anidro (SANTOS *et al.*, 2013).

Sendo assim, a coluna de desidratação tem como produto de topo uma mistura azeotrópica terciária que é condensada, decantada e passa pela recuperação do cicloexano, enquanto o produto de fundo é o etanol anidro que possui graduação alcoólica em torno de 99,7° INPM, ou seja, baixo teor de água (SANTOS *et al.*, 2013).

### 2.3. PROCESSO BIOQUÍMICO DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA

A fermentação alcoólica caracteriza-se por ser um processo bioquímico cujo principal agente é a levedura. A cepa mais utilizada na indústria alcooleira é *Saccharomyces cerevisiae*, e tem como objetivo promover um processo metabólico que ocasiona transformações químicas em substâncias orgânicas. No caso da levedura, consumir açúcar para manutenção de suas funções vitais e por consequência produzir como subproduto o etanol (CHIEPPE JÚNIOR, 2012) (SOUZA C. S., 2009).

A cana-de-açúcar é a principal matéria-prima para a produção de etanol no Brasil, e tem como açúcar principal um dissacarídeo, a sacarose, cuja fórmula molecular é  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . Os microrganismos (leveduras) não metabolizam dissacarídeos, no entanto a sacarose passa por um processo de hidrólise por uma exoenzima, a invertase, para que a sacarose com adição de água seja decomposta em monossacarídeos, glicose e frutose. A Figura 5 apresenta reação de inversão (AMORIM; LEÃO, 2005) (SOUZA C. S., 2009).



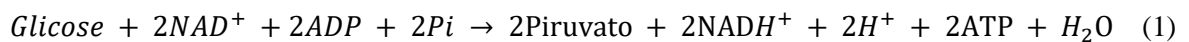
**Figura 4** – Reação de inversão da sacarose. Fonte: (NOVAKI,2009)

Após a hidrólise da sacarose, o processo de transformação da glicose pela ação dos microrganismos inicia-se. A próxima etapa da fermentação alcoólica é a glicólise, que tem por

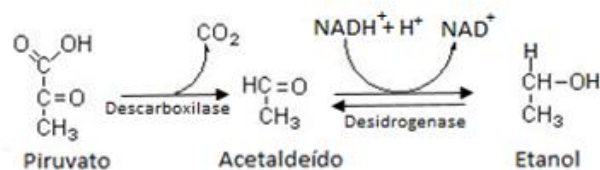
característica a degradação da glicose via reação metabólica por ação das enzimas, originando um ácido orgânico de fórmula molecular  $C_3H_4O_3$ , denominado ácido pirúvico ou piruvato (PRADO, 2014).

A célula necessita de energia para desempenhar sua função, para tanto, uma molécula de adenosina difosfato (ADP) combinada com um fosfato inorgânico (Pi) utilizam a energia derivada da decomposição da glicose para a formação de uma molécula de trifosfato de adenosina (ATP). As ligações químicas presentes na glicose permitem a síntese de quatro moléculas de ATP, como a célula consome duas moléculas de ATP para a manutenção de suas atividades vitais, logo, a glicólise dispõe de duas moléculas de ATP no final da reação (MONTEGUTTI; STANGE, 2008).

Quando as enzimas desidrogenases auxiliam no processo de conversão da glicose em piruvato, os hidrogênios presentes na glicose são deslocados para duas moléculas de nicotinamida adenina dinucleotídeo (NAD). Tais moléculas quando combinadas com o hidrogênio, originam um composto reduzido, o NADH, dois íons H também podem ser observados no final da reação (MONTEGUTTI; STANGE, 2008). A Equação 1 apresenta a reação da glicólise para formação de piruvato. (PRADO, 2014).



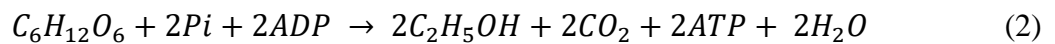
As moléculas de piruvato formadas na reação de glicólise são descarboxiladas por meio da ação da enzima descarboxilase piruvato, com auxílio da coenzima pirofosfato de tiamina em meio a  $\text{Mg}^{2+}$ . Na ausência de oxigênio, meio anaeróbico, o piruvato não sofre oxidação (SOUZA C. S., 2009). A partir da descarboxilase do piruvato, ou seja, remoção do grupo carboxilato, origina-se o aldeído acético ou acetaldeído que é reduzido por meio da enzima álcool desidrogenase que catalisa a transformação do acetaldeído em etanol. Ocorre também a oxidação do NADH em NAD (PRADO, 2014). A Figura 6 apresenta a equação de formação do etanol a partir do piruvato.



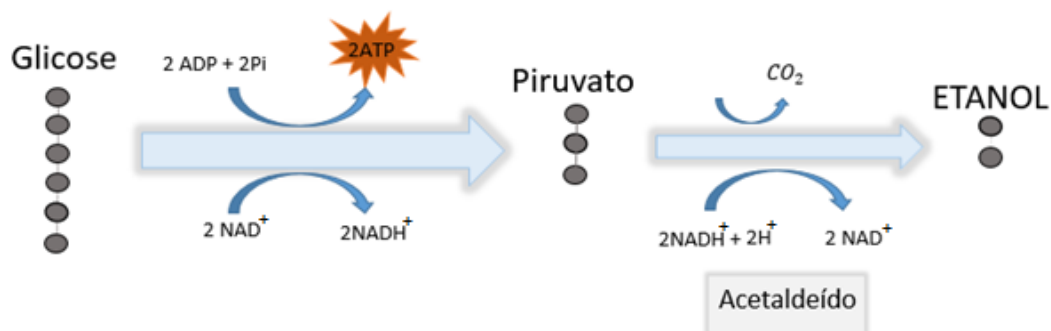
**Figura 5** - Fermentação alcoólica. Fonte: (TONET, 2007)

Os principais subprodutos da fermentação alcoólica são os ácidos orgânicos, como ácido succínico que caracteriza-se por se um agente antibacteriano e o ácido acético formado por bactérias na fermentação. A biomassa, que é gerada por meio do crescimento da massa celular, e o glicerol que é resultado do estresse osmótico celular reduzindo a eficiência da fermentação (CHIEPPE JÚNIOR, 2012).

A fermentação alcoólica pode ser descrita na forma de uma equação geral, que demonstra as transformações realizadas para a obtenção do etanol. A glicose é representada pela fórmula molecular  $C_6H_{12}O_6$ , já o etanol por  $C_2H_5OH$ . Dessa forma, a Equação 2 apresenta a reação geral da fermentação alcoólica (ERNANDES; GARCIA, 2009).



A Figura 7 apresenta o diagrama de blocos do processo de fermentação alcoólica, permitindo a visualização do ciclo de formação do etanol.



**Figura 6** - Sequência da fermentação alcoólica. Adaptado de: (ERNANDES; GARCIA;2009)

#### 2.4. O CLIMA E A PRODUÇÃO ALCOOLEIRA

A agricultura é influenciada por alguns parâmetros, como solo, genética das plantas, técnica de produção e fatores climáticos (COELHO; DE SOUZA, 2012). A cana-de-açúcar está diretamente exposta a ação dos fatores ambientais no seu desenvolvimento, que podem originar alterações, como nos genes da planta e na eficiência fotossintética (FELIPE, 2014).

Os efeitos do clima são observados na qualidade da cana-de-açúcar, o que pode refletir nos índices de sacarose presentes no caldo da cana, principal elemento para a produção de etanol a

partir da fermentação alcoólica. A temperatura do ambiente, a umidade relativa do ar, ocorrência ou ausência de precipitações são os principais fatores climáticos que influenciam no rendimento da fermentação (FIGUEIRREDO *et al.*, 2008).

Após o plantio da cana as temperaturas ideais para o brotamento variam entre 32°C a 38°C, já para o desenvolvimento da planta as temperaturas médias são em torno de 22°C a 30°C. No que se referem às necessidades hídricas as precipitações devem constar entre 1.200 a 1.300 milímetros no período de desenvolvimento vegetativo, para que a produtividade da planta e do etanol sejam adequadas (MARIN, 2008).

O ciclo fenológico da cana-de-açúcar é compreendido entre 11 e 12 meses e varia de acordo com as épocas de plantio adotadas pela empresa. No sistema de ano-e-meio o plantio é realizado entre janeiro e março e o ciclo de colheita se completa entre 16 e 18 meses, já no sistema de ano a cana é plantada entre outubro e novembro e leva cerca de 12 meses para estar apta a colheita. No plantio de inverno o período de cultivo é realizado o ano todo, mediante a irrigação da lavoura, o que torna o menos favorável devido aos custos financeiros (ROSSETTO; SANTIAGO, 2007).

O sistema mais difundido é o da cana de ano-e-meio em que é necessário um período quente e úmido para brotar, emergir, perfilhar e um período seco e/ou frio para maturação. O acúmulo de sacarose na cana-de-açúcar ocorre na fase de maturação, onde a influência do clima é crucial, determinando índices, como: permanência de sacarose nos colmos da cana, rendimento da sacarose e por consequência, rendimento fermentativo (MAURI, 2012). Segundo Almeida *et al.*, (2008), durante no período de maturação da cana a demanda hídrica deve ser menor para forçar o repouso fisiológico e por consequência a apuração da sacarose.

Segundo Lisboa *et al.*, (2015) o caldo da cana processado para uso industrial em períodos com baixo índices de precipitação pluviométrica proporcionou menor número de contaminações, o que reflete no menor número de bactérias responsáveis pelas contaminações. A viabilidade da levedura foi apropriada em decorrência da baixa umidade do ar, ou seja, as contaminações são favorecidas quando a umidade do ar apresenta índices elevados (AMORIM; LEÃO, 2005).

## 2.5. ANÁLISES LABORATORIAIS NA INDÚSTRIA ALCOOLEIRA

O escopo de desempenho de uma empresa alcooleira dialoga com a otimização da produção com eficiência e eficácia, por meio do uso racional de recursos e matéria-prima e

mediante decisões necessárias ao funcionamento da instituição, com responsabilidade ambiental e social (FERNANDES, 2011).

O controle de resultados é fundamental no setor, para que haja maior rendimento agroindustrial por hectare de cana-de-açúcar cultivado, associado à melhoria da produtividade, qualidade da matéria-prima, redução de custos de produção, eficiência industrial e qualidade dos produtos finais. A praticidade e o rigor das análises realizadas são primordiais no controle dos resultados, haja vista que quando solucionadas as perdas evitam prejuízos para a empresa (FERNANDES, 2011).

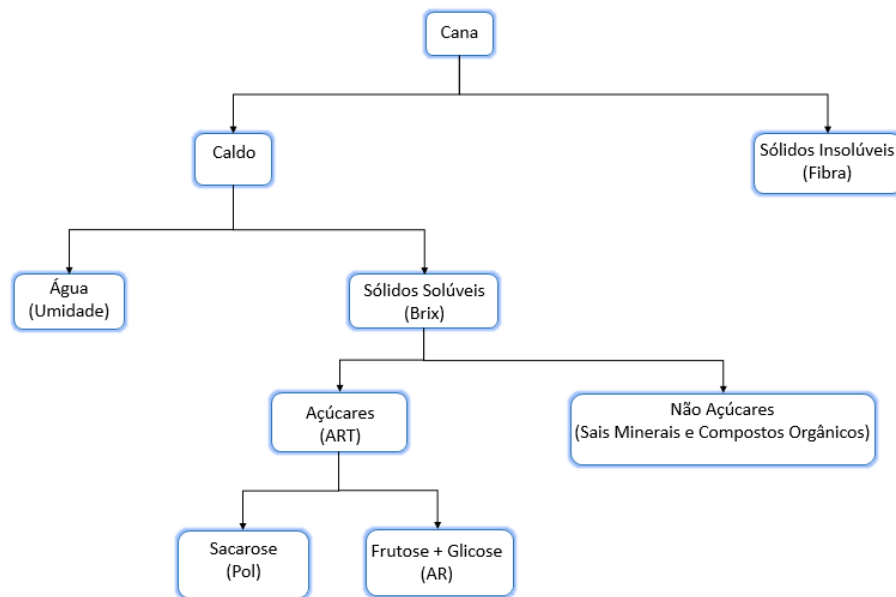
As interferências observadas por meio de análises laboratoriais do processo industrial são avaliadas pelos gestores da empresa. Tais análises são realizadas de forma interativa com a produção, ou seja, as rotinas laboratoriais fornecem resultados imediatos do processo e permitem que sejam realizadas intervenções preventivas e reparadoras, quando eficientes, auxiliam na redução dos prejuízos inerentes ao produto final (DAL BEM *et al.*, 2003).

### **2.5.1. Análises Físico-Químicas e Microbiológicas: Monitoramento da Fermentação Alcoólica**

Inúmeras análises podem ser realizadas em uma planta industrial de uma unidade produtora de álcool. No entanto, no presente trabalho serão retratados os principais parâmetros para realização das análises para o processo de fermentação alcoólica.

#### **2.5.1.1. Composição tecnológica da cana-de-açúcar**

Por meio da perspectiva tecnológica os colmos da cana são compostos de sólidos insolúveis em água e caldo. A composição do caldo é compreendida em sólidos solúveis e água. No diagrama apresentado na Figura 8 é possível visualizar a arranjo geral (FERNANDES, 2011).



**Figura 7** – Composição da cana-de-açúcar. Adaptado de:(FERNANDES,2011)

#### 2.5.1.2. Brix

Fator que retrata a porcentagem aparente de sólidos solúveis em uma solução pura de sacarose. Determina o teor de sacarose na solução em porcentagem peso/peso (DAL BEM *et al.*, 2003).

#### 2.5.1.3. Fibra

Representa elemento insolúvel em água presente na cana-de-açúcar. No setor industrial a fibra é acrescida naturalmente por materiais que aumentam o teor de sólidos insolúveis, como, palha, ponteiros da cana e terra (FELIPE, 2014) (DAL BEM *et al.*, 2003).

#### 2.5.1.4. Umidade

Expressa em valor porcentual, a umidade representa a quantidade de água presente nos colmos da cana-de-açúcar. No Brasil, a região centro-sul apresenta em média 72% a 68% de umidade no período compreendido pela safra (FERNANDES, 2011).

#### 2.5.1.5. Sacarose

Principal açúcar encontrado nos colmos da cana-de-açúcar é um dissacarídeo e contribui para determinar a qualidade da cana, bem como para a produção de açúcar e álcool. Seu peso

molecular é de 342,3 gramas com densidade de 1,588 g/cm<sup>3</sup> (SANTOS *et al.*, 2013) (FERNANDES, 2011). A sacarose sobre reação de inversão em meio ácido, originando monossacarídeos: glicose e frutose. Com o intuito de reduzir as perdas de sacarose durante o processamento do caldo da cana, é necessário supervisionar e garantir que a sacarose não sofra degradação sobre condições alcalinas (HAMERSKI, 2009).

#### 2.5.1.6. Pol

A pol representa a porcentagem evidente de sacarose na cana-de-açúcar ou no caldo extraído da planta, por meio de uma relação massa/massa. A pol caracteriza-se por ser um dos principais parâmetros utilizados pela gestão industrial, pois auxilia no controle de resultados na fabricação de açúcar e álcool. Geralmente a distinção entre pol e sacarose é irrelevante para análise de caldos onde a pureza gira em torno de 80% (DAL BEM *et al.*, 2003) (FERNANDES, 2011).

Equipamentos como polarímetros e sacarímetros são utilizados para a determinação da pol, e tem com princípio de funcionamento a aferição dos desvios da luz polarizada que os açúcares emitem (FERNANDES, 2011).

#### 2.5.1.7. Açúcares Redutores

Representado pela quantidade em massa de frutose e glicose presentes na cana-de-açúcar, os açúcares redutores (AR) influenciam na qualidade do produto final, intensificando a cor no processo industrial do açúcar. Os AR's sofrem declínio em média de 2% para 0,5% quando ocorre o aumento do teor de sacarose nos colmos da cana, ou seja, tais açúcares auxiliam no processo de análise da maturação adequada da planta. O termo conhecido como Açúcar Invertido refere-se tecnicamente a definição de AR. (FERNANDES, 2011).

#### 2.5.1.8. Açúcares Redutores Totais

Parâmetro utilizado industrialmente para a determinação da qualidade da matéria-prima, em especial para a fermentação alcoólica, bem como para o balanço de perdas de açúcares durante o processo de obtenção do açúcar e álcool. Os açúcares redutores totais (ART) retratam a quantidade total de açúcares da cana-de-açúcar por meio de açúcares redutores (AR) (VIAN, 2008).

Alguns métodos para determinação do ART são utilizados, como oxirredutometria, colorimetria, cromatografia, no entanto esse indicador também é definido analiticamente, caso

seja conhecido valores de AR. O método direto de determinação do ART, que se refere à utilização de equipamentos é mais confiável em relação à metodologia analítica. (FERNANDES, 2011). A Equação (3) demonstra a correlação existente para o método analítico.

$$ART = \frac{Sacarose}{0,95} + Glicose + Frutose \quad (3)$$

Caso a determinação do ART seja realizada em materiais com pureza elevada, a relação analítica para obtenção do parâmetro pode ser definida entre pol e AR (FERNANDES, 2011). A Equação (4) mostra essa relação:

$$ART = \frac{Pol}{0,95} + AR \quad (4)$$

#### 2.5.1.9. Pureza

A pureza real é apresentada de forma porcentual e determina a quantidade de sacarose presente nos sólidos solúveis ou matéria seca. Existem mais dois tipos de pureza, a denominada pureza aparente que representa a porcentagem da pol contida no Brix, e a pureza em ART que faz referência a porcentagem dos ART presentes no Brix. A pureza em ART é utilizada para o controle de resultados de qualidade da fermentação alcoólica (DAL BEM *et al.*, 2003) (FERNANDES, 2011).

#### 2.5.1.10. Fósforo

Durante o preparo para o processo de fermentação alcoólica se a quantidade de fósforo mg/L no caldo for insuficiente, é necessário a correção do mesmo por meio da adição de fósforo. Caso o volume de fósforo seja insatisfatório, a clarificação do caldo torna-se inviável ou incompleta, prejudicando a fermentação e reduzindo a eficiência da produção final (FERNANDES, 2011).

#### 2.5.1.11. Grau Alcoólico

Especifica o teor de etanol presente em uma mistura hidroalcoólica, vinculado ao volume ou a massa. O grau alcoólico volumétrico indica a porcentagem em volume do etanol a 15°C/20°C em uma mistura hidroalcoólica e pode ser representado por volume/volume pela sigla %<sub>v/v</sub>, no entanto no Brasil o mais utilizado é o grau Gay Lussac (°GL). O grau alcoólico mássico faz referência ao teor de etanol em uma mistura hidroalcoólica em relação à



porcentagem mássica: massa/massa. No setor de produção de álcool brasileiro essa unidade de medida é disseminada como °INPM ao invés de %<sub>m/m</sub> (FERNANDES, 2011).

#### 2.5.1.12. Produtividade

No setor sucroalcooleiro a produtividade é um dos indicadores que demonstram o desempenho da indústria e representa a quantidade de produtos gerados por área cultivada como o açúcar produzido/hectare ou ainda álcool produzido/hectare. O cálculo para produtividade na indústria sucroalcooleira pode ser observado na Equação (5). (FERNANDES, 2011).

$$PRO = \left( \frac{Prod}{U\_A} \right) \quad (5)$$

Onde:

PRO = produtividade industrial expressa em: (t cana /ha) ou (t\_açúcar/ha) ou (L\_E/ha);

Prod = quantidade de produto, colmos de cana, açúcar ou etanol;

U\_A = unidade de área (hectare)

t cana = tonelada de cana colhida;

t\_açúcar = tonelada de açúcar produzido;

L\_E = litros de etanol produzido.

#### 2.5.1.13. Rendimento

Rendimento no âmbito das indústrias de álcool e açúcar refere-se à quantidade de produto gerado por unidade de matéria-prima consumida para conversão, ou seja, quilogramas de açúcar ou litros de etanol produzido por matéria-prima consumida. O rendimento do etanol, Eq. (6), é obtido pelo somatório da produção total do etanol, dividido pelo total de cana moída durante o período desejado (FERNANDES, 2011).

$$RE = \left( \frac{L\_EC}{KG\_CP} \right) * 1000 \quad (6)$$

Onde:

RE = rendimento de etanol (L/ t cana)

L\_EC = litros de etanol produzido a partir da cana processada

KG\_CP = quilograma de cana processada

#### 2.5.1.14. Eficiência

Representa a quantidade de produto recuperado de acordo com a matéria-prima processada, no que se diz respeito a produção sucroalcooleira, pode representar a porcentagem de álcool gerado de acordo com o rendimento, ou seja, quantidade de açúcar presente na cana que retorna como produto final. A eficiência fermentativa pode ser obtida pela correlação entre litros de etanol produzido por quilograma de ART, já a eficiência da destilação é determinada pela porcentagem do etanol produzido em função do etanol disponível para recuperação no vinho destilado (FERNANDES, 2011).

A eficiência geral industrial, Eq. (7), é um dos principais parâmetros de desempenho do processo, variando entre 80% e 90% nos valores de média acumulada do período de safra (FERNANDES, 2011).

$$EGI = 100 * \left( \frac{KG\_ART\_Prod}{KG\_ART\_CP} \right) \quad (7)$$

Onde:

EGI = eficiência geral industrial;

KG\_ART\_Prod = total (kg) de ART nos produtos originados da cana-de-açúcar processada, como açúcar, leveduras e etanol;

KG\_ART\_CP = total (kg) de ART na cana processada.

### **3. EXPERIMENTAL**

#### **3.1. ANÁLISES LABORATORIAIS NA FABRICAÇÃO DO ETANOL**

A coleta de dados referentes às análises laboratoriais discutidas no presente trabalho foram realizadas na empresa sucroalcooleira Jalles Machado S/A, e na filial Unidade Otávio Lage, localizadas na cidade de Goianésia/Goias. A Jalles Machado S/A ingressou no setor sucroenergético em julho de 1980 e produz etanol, açúcar, energia, saneantes e levedura, já a Unidade Otávio Lage inaugurada em 2011 tem produto único, o etanol (JALLES MACHADO, 2015). A contribuição da empresa e dos gestores na recepção, acompanhamento dos procedimentos, fornecimento dos dados e informações, foi fundamental para a realização do estudo.

Nos próximos tópicos algumas análises realizadas no laboratório da Unidade Otávio Lage e acompanhadas para realização do presente estudo serão descritas. As análises foram executadas com o objetivo do controle de resultados do processo industrial e disponibilizadas pela empresa.

#### **3.2. ANÁLISE DO MOSTO**

##### **3.2.1. Procedimento de Coleta**

O ponto da coleta estava localizado próximo aos trocadores de calor, no pavimento da destilaria. O amostrador era do tipo contínuo e demanda da troca do frasco coletor a cada amostra realizada. Em seguida o frasco foi enviado ao laboratório.

##### **3.2.2. Brix**

A análise do Brix do mosto foi realizada de oito em oito horas, quando havia disponibilidade de coleta. Os procedimentos da análise são descritos nos itens abaixo:

- 1) Foi realizada a limpeza do aparelho: refratômetro. Com auxílio de água destilada e papel de característica macia e/ou absorvente;
- 2) Sobre o prisma do refratômetro foram depositadas algumas gotas da amostra por meio de um conta-gotas;
- 3) Após alguns segundos ocorreu a estabilização da temperatura da amostra, e logo depois efetuou-se a leitura;

- 4) O resultado da leitura fornecido na tela do equipamento foi anotado.

### 3.2.3. PH

O método para a determinação do pH caracteriza-se pela utilização do peagâmetro, um equipamento que dispõe de um eletrodo conectado a um potenciômetro, que afere a diferença de potencial (MARTINS, 2007). Os procedimentos da análise são descritos em seguida:

- 1) A amostra disponível estava em temperatura ambiente, caso não estivesse, deveria ser efetuado o resfriamento da mesma;
- 2) Com auxílio de água destilada e papel macio foi realizada a higienização do eletrodo.
- 3) Logo após o eletrodo foi imerso na amostra até cobertura do bulbo;
- 4) Os resultados encontrados foram anotados;
- 5) A limpeza do aparelho foi realizada novamente, com água destilada e papel macio. E em seguida o eletrodo foi imerso em água destilada.

### 3.2.4. Acidez Sulfúrica

A análise da acidez sulfúrica do mosto foi realizada de vinte e quatro em vinte e quatro horas. Os procedimentos da análise são descritos nos itens abaixo:

- 1) Em um béquer com volume de 100 mL foram pipetados 20 mL da amostra disponível;
- 2) Em seguida foram adicionados 50 mL de água destilada a mistura, e o béquer encaminhado à um agitador magnético;
- 3) O eletrodo foi imerso na mistura até que o bulbo foi coberto e logo depois a microbureta foi zerada;
- 4) Por meio de agitação a mistura foi homogeneizada e titulada com a solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 N até que o peagâmetro registrasse o pH de 8,5.
- 5) O volume gasto durante a titulação foi anotado;
- 6) Foi realizado o cálculo final, por intermédio da Equação (5):

$$\text{Acidez Sulfúrica} \left( g \frac{H_2SO_4}{\text{lítro}} \right) = V \times 0,245 \times \text{fator de correção da solução} \quad (5)$$

Onde: V = volume gasto de NaOH a 0,1 N

### 3.2.5.ART

A análise da porcentagem do ART do mosto foi realizada de vinte e quatro em vinte e quatro horas. Os procedimentos da análise são descritos nos itens abaixo:

- 1) Com auxílio de uma pipeta volumétrica foram transferidos 50 mL de amostra para o balão volumétrico de 250 mL, logo depois o restante do volume do balão foi preenchido com água;
- 2) Foram adicionados ao balão volumétrico 0,2 g de Oxalato de Sódio p.a. e logo depois foi realizada a homogeneização da mistura;
- 3) Em seguida, foram adicionados entre 1,0 e 2,0 g de Celite p.a. e realizada a homogeneização novamente;
- 4) Após a homogeneização foi realizado o processo de filtração da mistura por meio de papel filtro. As primeiras 20 mL do filtrado foram desprezadas;
- 5) Foram coletadas 10 mL da mistura filtrada e em seguida transferida para balão volumétrico de 200 mL. A pipeta volumétrica foi utilizada;
- 6) Com a pipeta volumétrica limpa, foram adicionados ao mesmo balão volumétrico 20 mL de solução de ácido clorídrico HCl 0,75 N;
- 7) O balão volumétrico foi encaminhado ao banho-maria por 40 minutos ( $\pm 30$  segundos) com temperatura de 65 °C ( $\pm 2^\circ$  C). Caso esse recurso não estivesse disponível outra opção seria conduzir o balão volumétrico ao forno micro-ondas em potência alta em média 5 segundos após a ebulição da amostra;
- 8) O balão volumétrico foi resfriado em água corrente até a temperatura ambiente;
- 9) Logo após foram adicionadas 3 gotas da solução Alcoólica Indicadora de Fenolftaleína a 1% (g/100mL) no balão volumétrico de 200 mL;
- 10) Com auxílio de pipetas graduadas, foram gotejadas lentamente no balão volumétrico a solução de NaOH 0,75 N e a solução de NaOH 0,1 N a fim de neutralizar a amostra. A coloração levemente rosa indicou a neutralização da amostra contida no balão;

#### 3.2.5.1.Determinação do ART

- 1) Foram pipetadas 50 mL de Padrão de Açúcar Invertido a 0,25% de ART e logo depois ocorreu a diluição da amostra à 200 mL de água destilada;
- 2) Logo após, o conteúdo diluído foi transferido para a bureta do equipamento de titulação Redutec, com eletrodo de oxirredução e bureta específica do aparelho;

- 3) A titulação foi realizada por meio de 5mL do reativo e 5 mL de reativo B. Em seguida, o volume gasto na titulação foi anotado;
- 4) Foram adicionados 5 mL do reativo A e 5 mL do reativo B em 10 mL de solução de Fehling;
- 5) A solução mistura realizada com a solução de Fehling foi inserida na bureta do equipamento Redutec;
- 6) Logo após ao início da ebulição, foi realizada a titulação até o ponto de viragem no display.
- 7) Foi anotado o valor do volume gasto durante a titulação.
- 8) Em seguida foi realizado o cálculo final por intermédio da Equação (6) (FERNANDES, 2011):

$$\% ART = \frac{10}{m} * \left( \frac{496,4404}{VGart} + 0,605 \right) \quad (6)$$

Onde:

ART = açúcares redutores totais % mosto;

VGart = volume gasto na titulação com correção do fator da solução de Fehling (mL);

m = quantidade de mosto presente na solução utilizada na titulação (g/L);

- 9) Para o cálculo do fator m, a Equação (7) foi utilizada como base (FERNANDES, 2011):

$$m = 1000 * \frac{P_1 V_2}{B_1 B_2} \quad (7)$$

Onde:

P<sub>1</sub> = massa inicial de mosto no balão volumétrico B<sub>1</sub> (g);

B<sub>1</sub> = capacidade do balão volumétrico da primeira diluição (mL);

V<sub>2</sub> = volume do material utilizado do balão volumétrico B<sub>2</sub> (mL);

B<sub>2</sub> = capacidade do balão volumétrico da segunda diluição (mL);

### 3.2.6. Pol

A análise da pol do mosto foi realizada de oito em oito horas. Os procedimentos da análise são descritos nos itens abaixo:

- 1) Em 200 mL de amostra foram adicionadas por volta de 3 a 4 gramas de clarificante a base de octapol;

- 2) A mistura foi agitada com auxílio de um mix<sup>2</sup>, até que a amostra apresentasse um tom mais claro;
- 3) A filtração da amostra foi realizada por intermédio de papel filtro, dobrado em pregas e dispostos em funis na bancada do laboratório;
- 4) Foram descartados 25 mL do material filtrado inicialmente e logo após foram recolhidos 100 mL obtidos da filtração;
- 5) A amostra já preparada foi transferida para o equipamento sacarímetro<sup>3</sup>, e logo após a estabilização do equipamento a leitura foi realizada;
- 6) O resultado encontrado foi anotado.

### 3.3. ANÁLISE DO PÉ DE CUBA

#### 3.3.1. Procedimento de Coleta

O ponto da coleta estava localizado no funil de saída do fermento na cuba 2. O frasco foi enxaguado por duas vezes antes da amostra ser recolhida, após a coleta o frasco foi encaminhado para o laboratório.

#### 3.3.2. pH

A análise para determinação do pH do fermento foi realizada de hora em hora. Os procedimentos da análise são os mesmos descritos no item 3.1.3. do presente trabalho.

#### 3.3.3. Teor de leveduras no fermento

A análise para determinação do teor de leveduras no fermento foi realizada de quatro em quatro horas. Os procedimentos da análise são descritos abaixo:

- 1) Foram adicionadas 15 mL de amostra no tubo de ensaio e em seguida a amostra foi inserida no equipamento denominado centrífuga por 10 minutos a 3000 rpm.

---

<sup>2</sup> Mix é um aparelho geralmente utilizada na cozinha e tem por característica ser um agitador. É eficiente para agitação de amostras líquidas. No entanto, a higienização deve ser eficiente.

<sup>3</sup> Sacarímetro é um polarímetro desenvolvido para a aplicação na indústria sucroalcooleira, permitindo análises de amostras do tipo mosto, caldo ou soluções açucaradas. O método do aparelho consiste em submeter a amostra a um feixe de luz polarizada. Ao permear o líquido, o plano de polarização da luz rotaciona em uma determinada angulação referente a concentração de sacarose presente na amostra (ALVARENGA *et al.*, 2010).

- 2) Os tubos de ensaio foram removidos da centrífuga e a leitura do volume decantado foi realizada;
- 3) O resultado foi anotado e o cálculo realizado de acordo com a Equação (8):

$$\% \text{ Teor de leveduras} = \left( \frac{V_l}{V_a} \right) * 100 \quad (8)$$

Onde:

$V_l$  = volume decantado de levedo (mL);

$V_a$  = volume total da amostra (mL).

### 3.3.4. Glicerol

A análise para determinação da porcentagem do glicerol no fermento foi realizada a cada vinte e quatro horas. Os procedimentos da análise são os mesmos descritos nos itens abaixo:

- 1) Foram adicionados no tubo de ensaio de 20 mL de amostra devidamente homogeneizada e logo após transferidos para a centrífuga por 10 minutos ( $\pm$  30 segundos) a uma rotação de 3000 rpm;
- 2) Cerca de 10 mL de partículas sobrenadantes na amostra foram removidas com auxílio da pipeta volumétrica;
- 3) As partículas foram transferidas para um balão volumétrico de 200 mL e logo depois foi acrescentado água. Em seguida a amostra foi homogeneizada;
- 4) Foram pipetados 2 mL da mistura contida no balão volumétrico de 200 mL e transferidos para um balão volumétrico de 100 mL;
- 5) Foi adicionado água no balão e logo após foi realizada a homogeneização da amostra;
- 6) Foram compostos nove tubos de ensaio com auxílio de pipetas volumétricas. A Tabela 2 apresenta como foi realizada a composição dos tubos;

**Tabela 2** - Composição dos Tubos de Ensaio

<b>Tubos de Ensaio</b>	<b>Composição 5 (mL)</b>
1,2,3	Amostra*
4,5,6	Padrão de glicerol**
7,8,9	Água destilada***

\* Amostra contida no balão volumétrico de 100 mL;

\*\* Padrão de trabalho de glicerol a 0,0005%; \*\*\* Água

destilada compõe a denominada prova em branco.



- 7) Por intermédio de pipetas volumétricas foram inseridas em cada tubo de ensaio 2 mL de solução enzimática Sigma, Merck, Bayer ou DiaSys;
- 8) Os tubos foram invertidos de forma delicada a fim de homogeneizar a amostra;
- 9) Logo após os tubos de ensaio foram transferidos para o banho-maria por cerca de 5 minutos ( $\pm 30$  segundos) em uma temperatura de  $37^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 1^{\circ}\text{C}$ );
- 10) Os tubos foram removidos do banho-maria e resfriados até a temperatura ambiente;
- 11) O equipamento espectrofotômetro<sup>4</sup> foi utilizado com cubetas de 10 mm para leitura das amostras contidas em cada um dos nove tubos de ensaio;
- 12) De acordo com a solução enzimática utilizada foi realizada a leitura no equipamento. A Tabela 3 discrimina os comprimentos de ondas adequados para leitura:

**Tabela 3** – Leitura do equipamento espectrofotômetro

<b>Solução Enzimática</b>	<b>Comprimento de onda (nm)</b>
Sigma	540
Merck	500
Bayer	500
DiaSys	500

- 13) Os resultados encontrados foram anotados.

### 3.4. ANÁLISE DO VINHO A CENTRIFUGAR

#### 3.4.1. Procedimento de Coleta

O ponto da coleta da amostra estava localizado no amostrador contínuo próximo aos trocadores de calor no piso da destilaria. O frasco foi enxaguado por duas vezes antes da amostra ser recolhida, após a coleta o frasco foi encaminhado para o laboratório.

---

<sup>4</sup> O espectrofotômetro é um equipamento que afere e compara a radiação absorvida ou transmitida por uma determinada solução. Sendo assim, o aparelho afere a quantidade e/ou concentração de um determinado elemento na solução analisada (BRISOLA *et al.*, 2008).

### 3.4.2. pH

A análise para determinação do pH do fermento foi realizada de hora em hora. Os procedimentos da análise são os mesmos descritos no item 3.1.3. do presente trabalho.

### 3.4.3. Teor de levedo

A análise para determinação do teor de leveduras no vinho a centrifugar foi realizada de quatro em quatro horas. Os procedimentos da análise são os mesmos descritos no item 3.2.3. do presente trabalho.

### 3.4.4. °GL: Teor alcoólico

A análise para determinação do teor alcoólico no vinho a centrifugar foi realizada em média de quatro em quatro horas. Os procedimentos da análise estão descritos nos itens seguintes.

#### 3.4.4.1. Destilação da amostra de vinho a centrifugar

Para destilação da amostra foram seguidos os procedimentos de operação do equipamento micro destilador. Os passos para destilar a amostra de vinho a centrifugar estão descritos nos itens abaixo:

- 1) Foi averiguado o nível de água destilada presente na caldeira do micro destilador e logo depois a água do condensador foi acionada;
- 2) Foi verificado se as torneiras do micro destilador estão abertas, e logo depois o equipamento foi acionado e o aquecimento da água da caldeira iniciou;
- 3) Assim que a água iniciou a ebulição o equipamento foi desligado;
- 4) A amostra do vinho a centrifugar disponível no laboratório em recipiente vedado, foi agitada e ocorreu a liberação do CO<sub>2</sub> presente na amostra. O passo foi repetido por quatro vezes;
- 5) Foi transferido 25 mL de amostra para o micro destilador com auxílio de uma pipeta volumétrica. Nessa etapa as válvulas do equipamento estavam abertas;
- 6) O local onde a amostra foi inserida foi higienizado com a inserção de água destilada;
- 7) Em seguida um balão volumétrico de 50 mL foi acoplado no final do condensador do micro destilador para que a amostra destilada fosse recolhida. Nessa etapa a ponteira do condensador estava posicionada cerca de 2 a 3 cm no gargalo do balão volumétrico;

- 8) O reostato foi acionado; quando a água entrou em ebulição as duas válvulas do equipamento foram fechadas;
- 9) O reostato foi ajustado na posição média e logo depois de um minuto calibrado para posição máxima;
- 10) Após o balão volumétrico ser preenchido a amostra foi recolhida;
- 11) Em seguida o balão volumétrico foi retirado do condensador e em seguida o reostato foi desligado;
- 12) Os resíduos da destilação foram removidos por meio da abertura das válvulas do micro destilador;
- 13) O restante do volume do balão volumétrico foi preenchido com água destilada até o menisco; logo após a amostra foi agitada;

#### 3.4.4.2. Determinação do °GL

Para a determinação do teor alcoólico em função do °GL foi necessário o uso do equipamento densímetro digital, que tem por finalidade a leitura da densidade das amostras desejadas. Os procedimentos para a leitura do equipamento são descritos em seguida:

- 1) Foi realizada a calibragem do equipamento por meio da higienização do mesmo com água destilada;
- 2) Em seguida 20 mL da amostra da destilação foram transferidas para o densímetro digital; e aguardar o escoamento da amostra;
- 3) Após o escoamento da amostra no densímetro digital foram adicionados 10 mL de amostra destilada no equipamento. Foi verificado o tubo do densímetro para que o equipamento não apresentasse bolhas de ar;
- 4) A tecla “*start*” foi acionada e a leitura iniciou-se;
- 5) O resultado encontrado foi anotado;
- 6) O resultado encontrado foi ajustado de acordo com o volume do balão volumétrico utilizado. Para o balão volumétrico de 50 mL, a leitura do densímetro digital foi multiplicada por 2, no entanto, para balão de 100 mL a leitura do densímetro foi multiplicada por 4;

### 3.4.5. ART

A análise porcentual do ART do vinho a centrifugar foi realizada de oito em oito horas.

Os procedimentos da análise são descritos nos itens abaixo:

- 1) A amostra de vinho foi submetido a centrifugação em uma centrífuga de bancada a uma rotação de 3000 rpm por um período de 10 minutos ( $\pm 30$  segundos);
- 2) Após a centrifugação foi transferido cerca de 50 a 100 mL da amostra para um béquer de 250 mL;
- 3) Foram inseridos no béquer 0,2 gramas de oxalato de sódio p.a. e em seguida realizada a agitação do material;
- 4) No mesmo béquer foram adicionados cerca de 2,0 gramas de celite p.a. e em seguida foi realizada a homogeneização do material;
- 5) Logo após, a filtração da amostra foi realizada com auxílio de funil e papel filtro. Foram descartados 20 mL iniciais da filtragem;
- 6) Foram transferidos para um balão volumétrico de 200 ml cerca de 10 mL de amostra filtrada com a pipeta;
- 7) Ainda com a pipeta volumétrica, foram adicionados no balão volumétrico 20 ml de HCl 0,75 N. Em seguida a amostra foi agitada delicadamente;
- 8) O balão volumétrico foi posicionado em banho-maria a  $65^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) e por 40 minutos ( $\pm 30$  segundos) até que mesmo ficasse imerso. Outra opção seria o uso do forno micro-ondas em potência máxima durante 5 segundos após o início da ebulição da amostra;
- 9) A amostra foi resfriada em água corrente até a temperatura ambiente;
- 10) Logo após foram adicionadas 3 gotas da solução Alcoólica Indicadora de Fenolftaleína a 1% (g/100mL) no balão volumétrico de 200 mL;
- 11) Com auxílio de pipetas graduadas, foram gotejadas lentamente no balão volumétrico a solução de NaOH 0,75 N a fim da neutralização da amostra. A coloração levemente rosa foi observada e indicou a neutralização da amostra contida no balão;

#### 3.4.5.1. Determinação do ART

- 1) Nove tubos de ensaio foram compostos com auxílio de micropipetas. A Tabela 4 apresenta como foi realizada a composição dos tubos:

**Tabela 4 – Composição dos tubos de ensaio**

<b>Tubos de Ensaio</b>	<b>Composição 1 (mL)</b>
1,2,3	Amostra*
4,5,6	Padrão de açúcar**
7,8,9	Água destilada***

\*Amostra contida no balão de 100 mL; \*\*Padrão de trabalho de açúcar invertido a 0,005%; \*\*\*Água destilada compõe a denominada prova em branco.

- 2) Os tubos de ensaio foram transferidos para o banho de ebulição cilíndrico com resistência em espiral;
- 3) Os tubos ficaram imersos por cerca de 2 minutos ( $\pm 30$  segundos) até que a temperatura entre eles entrasse em equilíbrio;
- 4) Foi adicionado aos tubos de ensaio 1 mL de solução reagente de somogy em banho-maria a  $65^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) utilizando o dispensador;
- 5) A amostra permaneceu por 15 minutos ( $\pm 30$  segundos) no banho-maria;
- 6) Em seguida, os tubos de ensaio foram resfriados em água corrente;
- 7) Foi adicionado em cada um dos tubos de ensaio, 1 mL da solução reagente de Nelson ou Nelson modificada;
- 8) A amostra foi agitada com auxílio do agitador de tubos, até que a amostra fosse homogeneizada;
- 9) Em cada tubo de ensaio foram adicionados 7 mL de água destilada;
- 10) Durante 5 minutos ( $\pm 30$  segundos) os tubos de ensaio permaneceram em repouso;
- 11) As leituras em absorvância no espectrofotômetro foram realizadas, utilizando cubetas de 10 mm e comprimento de onda a 535 nm.

#### 3.4.6. Acidez sulfúrica

A análise da acidez sulfúrica no vinho a centrifugar foi realizada uma vez ao dia. Os procedimentos da análise são descritos nos itens abaixo:

- 1) Com auxílio de uma centrífuga de bancada o vinho foi centrifugado por 10 minutos ( $\pm 30$  segundos) a uma rotação de 3000 rpm;

- 2) Por intermédio de uma pipeta volumétrica foram transferidos 20 mL do sobrenadante da amostra para um balão de fundo chato com boca esmerilhada. Em seguida o balão de fundo chato foi completado com 50 mL de água destilada;
- 3) Em seguida o balão de fundo chato foi colocado em manta aquecedora ou chapa aquecedora no sistema em refluxo da coluna condensadora de vapores;
- 4) Após 5 minutos ( $\pm 30$  segundos) do início da ebulição da amostra o balão foi retirado;
- 5) Logo em seguida a amostra foi resfriada em água corrente e transferida para um béquer de 250 mL;
- 6) O béquer foi conduzido para um agitador magnético, e em seguida acrescentado uma barra magnética de agitação;
- 7) O eletrodo do medidor de pH foi inserido na amostra e a titulação foi realizada até que o pH da amostra atingisse 8,5;
- 8) A titulação foi realizada com a solução de NaOH 0,1 N padronizada contida em uma bureta de 10 mL. A agitação foi constante e o gotejamento da solução de NaOH lento;
- 9) O resultado foi anotado e o cálculo realizado de acordo com a Equação (9):

$$\text{Acidez Sulfúrica} \left( g \frac{H_2SO_4}{\text{lítro}} \right) = V_{NaOH} \times 0,245 \times \text{fator de correção da solução} \quad (9)$$

Onde:  $V_{NaOH}$  = volume gasto de NaOH a 0,1 N durante a titulação da amostra.

#### 3.4.7. Viabilidade celular

A viabilidade celular dentro da fermentação alcoólica é determinada em porcentual e indica se as atividades das leveduras foram efetivas. Para que a recuperação do fermento seja adequada e as perdas no processo reduzidas, a viabilidade deve estar em média de 80 a 90%. Acima desse valor o fermento pode ter sido depositado no fundo da dorna, abaixo disso a alta temperatura aliada com alto teor alcoólico podem ter contribuído para baixa viabilidade (QUÍMICA REAL, 2011).

A análise para determinação da viabilidade celular no vinho a centrifugar foi realizada às 08h, 12h e 16h. Os procedimentos da análise estão descritos nos itens abaixo:

- 1) Com auxílio de pipeta volumétrica foram transferidos 10 mL de amostra para um tubo de ensaio e adicionado papaína;
- 2) Em seguida o tubo de ensaio foi encaminhado ao agitador;
- 3) O tubo de ensaio ficou em repouso por 5 minutos e logo após a amostra foi diluída. A diluição foi realizada com água destilada até que a contagem de leveduras se ajustasse de 300 a 500 leveduras;
- 4) Em uma 1 mL de amostra diluída foi adicionada 1 mL de solução de trabalho de eritrosina com tampão fosfato;
- 5) A mistura contida no tubo de ensaio foi homogeneizada;
- 6) Logo após, a amostra foi encaminhada para a câmara de Neubauer<sup>5</sup>, com volume suficiente para cobrir a extensão do equipamento;
- 7) O próximo passo foi a contagem de 100 retículos na câmara de Neubauer. A contagem levou em consideração células vivas, mortas e brotos;
- 8) Os resultados foram anotados e os cálculos realizados para a determinação da porcentagem de células em atividade, de acordo com a Equação (10):

$$\%Viabilidade = \left( \frac{\text{Células viáveis}}{\text{Células viáveis} + \text{Células não-viáveis}} \right) * 100 \quad (10)$$

#### 3.4.8. Brotamento

A análise para determinação da porcentagem no vinho a centrifugar foi realizada às 08h, 12h e 16h. Os procedimentos da análise são os mesmos descritos no item 3.2.7. do presente trabalho. No entanto os cálculos foram diferentes. A Equação (11) apresenta o cálculo para determinar a porcentagem de células em atividade e que estão se multiplicando:

$$\% Brotamento = \left( \frac{\text{Células viáveis em brotamento}}{\text{Células viáveis}} \right) * 100 \quad (11)$$

#### 3.4.9. Glicerol

A análise para determinação do glicerol do vinho a centrifugar foi realizada uma vez dia. Os procedimentos da análise são os mesmos descritos no item 3.2.4. do presente trabalho.

---

<sup>5</sup> Equipamento utilizado para determinação da concentração de células em amostras, geralmente fabricada em vidro óptico, a câmara de Neubauer é uma lâmina de microscopia. A rede de contagem ou quadrantes gravados diretamente no vidro possibilitam a leitura na câmara de Neubauer (LUCARINI *et al.*, 2004).

### 3.5. VINHO CENTRIFUGADO

#### 3.5.1. Procedimento de Coleta

O local da coleta da amostra deve ser no amostrador contínuo próximo aos trocadores de calor no piso da destilaria. O frasco de coleta foi enxaguado por duas vezes antes de recolher a amostra, em média 50 mL de vinho na saída da centrífuga. Após a coleta o frasco foi encaminhado para o laboratório.

#### 3.5.2. Teor de leveduras

A análise para determinação da porcentagem de levedura no vinho centrifugado foi realizada de quatro em quatro horas. Os procedimentos para análise são os mesmos descritos no item 3.2.3. do presente trabalho.

#### 3.5.3. °GL: Teor alcoólico

A análise para determinação do teor alcoólico no vinho centrifugado foi realizada de quatro em quatro horas. Os procedimentos para análise são os mesmos descritos no item 3.3.4. do presente trabalho.

### 3.6. DESTILARIA

#### 3.6.1. Procedimento de Coleta

O local da coleta da amostra deve ser no amostrador contínuo próximo aos trocadores de calor no piso da destilaria. Deve-se enxaguar o frasco de coleta continuamente antes de recolher a amostra, em média 150 mL de vinho na saída da centrífuga, após coletar encaminhar o frasco para o laboratório.

#### 3.6.2. °GL: Vinhaça

A análise para determinação do teor alcoólico na vinhaça é realizada de quatro em quatro horas. Os procedimentos para análise são os mesmos descritos no item 3.3.4. do presente trabalho.

No entanto a destilação da vinhaça distinguiu-se apenas em dois itens. Ao invés de pipetar 25 mL de amostra, foram pipetados 50 mL. O balão volumétrico era de 50 mL foi substituído por um balão de 10 mL. O restante dos procedimentos foram semelhantes ao item 3.3.4.



### 3.6.3. °GL: Flegmaça

A análise para determinação do teor alcoólico na flegmaça foi realizada de quatro em quatro horas. Os procedimentos para análise foram os mesmos descritos no item 3.3.4. do presente trabalho.

No entanto a destilação da flegmaça diferenciou-se apenas em dois itens. Ao invés de pipetar 25 mL de amostra, foram pipetados 50 mL. O balão volumétrico era de 50 mL foi substituído por um balão de 10 mL. O restante dos procedimentos foram semelhantes ao item 3.3.4.

## 3.7. QUALIDADE DO ETANOL

### 3.7.1. Procedimento de Coleta

O ponto de coleta da amostra estava localizado nas linhas de álcool na saída dos aparelhos, que encontravam-se próximas ao corrimão da escada do primeiro piso da destilaria. Inicialmente foram removidas 100 mL de álcool, para que a drenagem do espaço existente entre a válvula e a tubulação ocorresse. O descarte do álcool retirado foi realizado em um recipiente adequado. Logo em seguida a amostra foi recolhida por intermédio da válvula e encaminhada para o laboratório.

### 3.7.2. Teor alcoólico: álcool hidratado

A análise para determinação do teor alcoólico do álcool hidratado foi realizada de duas em duas horas, quando possível. Os procedimentos para análise são os mesmos descritos no item 3.3.4.2. do presente trabalho.

No item 3.3.4.2. o teor alcoólico foi expresso em °GL, no entanto para análise do álcool hidratado o teor alcoólico foi expresso em °INPM. Sendo assim, a única distinção realizada foi a calibração do densímetro digital para que a leitura fosse executada em °INPM.

### 3.7.3. Acidez acética: álcool hidratado

A análise para determinação da acidez acética do álcool hidratado foi realizada de quatro em quatro horas. Os procedimentos para análise são os mesmos descritos no itens abaixo:

- 1) Foram adicionados 50 mL de água destilada em um erlenmeyer de 250 mL;
- 2) Em seguida 3 gotas do indicador alfa-naftolftaleína anidra p.a. a 0,1% foram inseridos no erlenmeyer;

- 3) A mistura foi neutralizada com solução de hidróxido de sódio (NaOH) padronizada 0,02 N, até que se observasse a coloração azul claro da mistura;
- 4) No mesmo erlenmeyer de 250 mL foram adicionados 50 mL da amostra de álcool;
- 5) A mistura foi titulada com a solução de hidróxido de sódio anidro p.a. a 0,02 N. A viragem dessa titulação consistiu da passagem do aspecto incolor da mistura para uma coloração levemente azul;
- 6) O volume gasto (mL) para realização a titulação foi anotado.

#### 3.7.4. Condutividade

A análise para determinação da condutividade do álcool hidratado foi realizada de quatro em quatro horas. Os procedimentos para análise são os mesmos descritos no itens abaixo:

- 1) Foram inseridas 150 mL da amostra de álcool em um béquer;
- 2) Em seguida foi realizada a higienização do equipamento condutivímetro<sup>6</sup> com auxílio de água destilada e papel macio. A célula do condutivímetro foi secada delicadamente sem a ocorrência de atrito;
- 3) A célula já higienizada foi inserida na amostra sem que a parede fosse tocada;
- 4) Com movimentos circulares delicados a amostra foi homogeneizada e em seguida a tecla “*enter*” do equipamento foi acionada;
- 5) O valor da leitura foi anotado logo após a estabilização da mesma;
- 6) A limpeza da célula foi realizada com água destilada e em seguida foi depositada em um recipiente adequado com água destilação;

#### 3.7.5. pH

A análise para determinação do pH do álcool hidratado foi realizada de quatro em quatro horas. Os procedimentos para análise são os mesmos descritos nos itens abaixo:

- 1) Foram adicionados 150 mL de amostra em um béquer;
- 2) O eletrodo do peagâmetro foi higienizado com água destilada e papel macio;
- 3) Em seguida o eletrodo foi inserido na amostra até que o bulbo fosse coberto;
- 4) O resultado da leitura do pH foi anotado;

---

<sup>6</sup> Equipamento que afere a condutividade em soluções aquosas ou hidroalcoólica. A condutividade elétrica de uma mistura representa a capacidade em conduzir eletricidade, para o álcool hidratado o máxima condutividade permitida é de 350 micro Siemens por metro ( $\mu\text{S/m}$ ) (NOVA CANA, 2016).

- 5) Após a utilização do equipamento o mesmo foi armazenado com o eletrodo devidamente higienizado com água destilada.
- 6)

### 3.8. ACÚMULO DE CHUVA E TEMPERATURA MÉDIA DURANTE O PERÍODO DE SAFRA

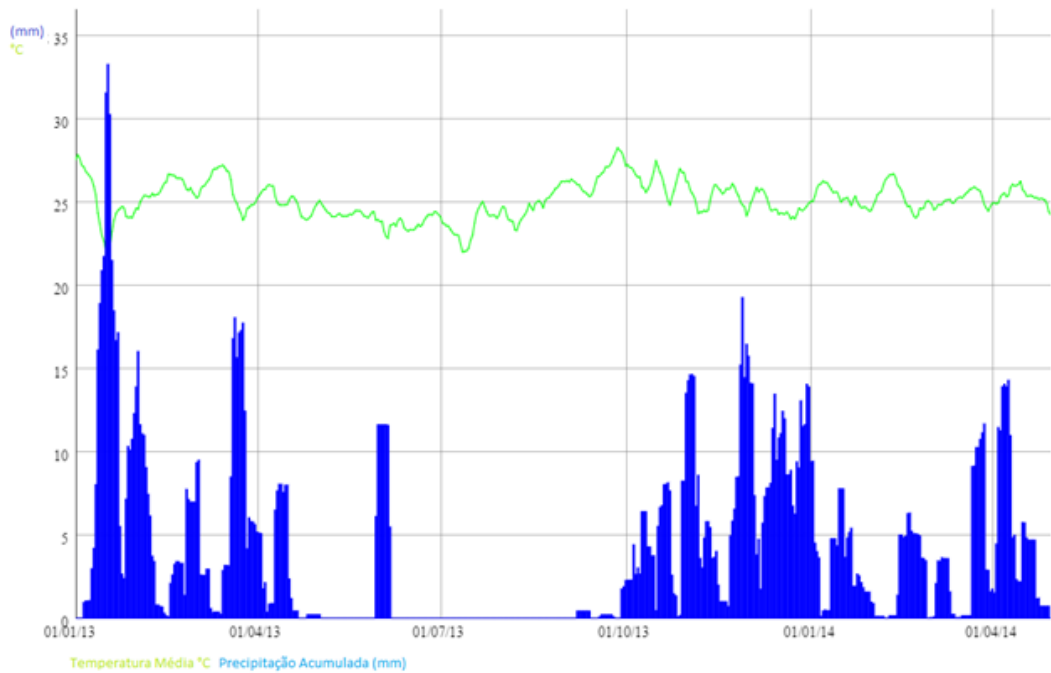
Os fatores climáticos estão diretamente ligados à qualidade do etanol produzido nas indústrias alcooleiras. Para tanto foi necessário consultar dados referentes ao acúmulo de chuva e a temperatura média durante o período de safra da Unidade Otávio Lage.

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), órgão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) disponibiliza informações meteorológicas em diversos municípios brasileiros. A aferição dessas informações são realizadas por intermédio de estações meteorológicas convencionais e automáticas, que registram as condições climática da região onde se encontram instaladas (INMET, 2016).

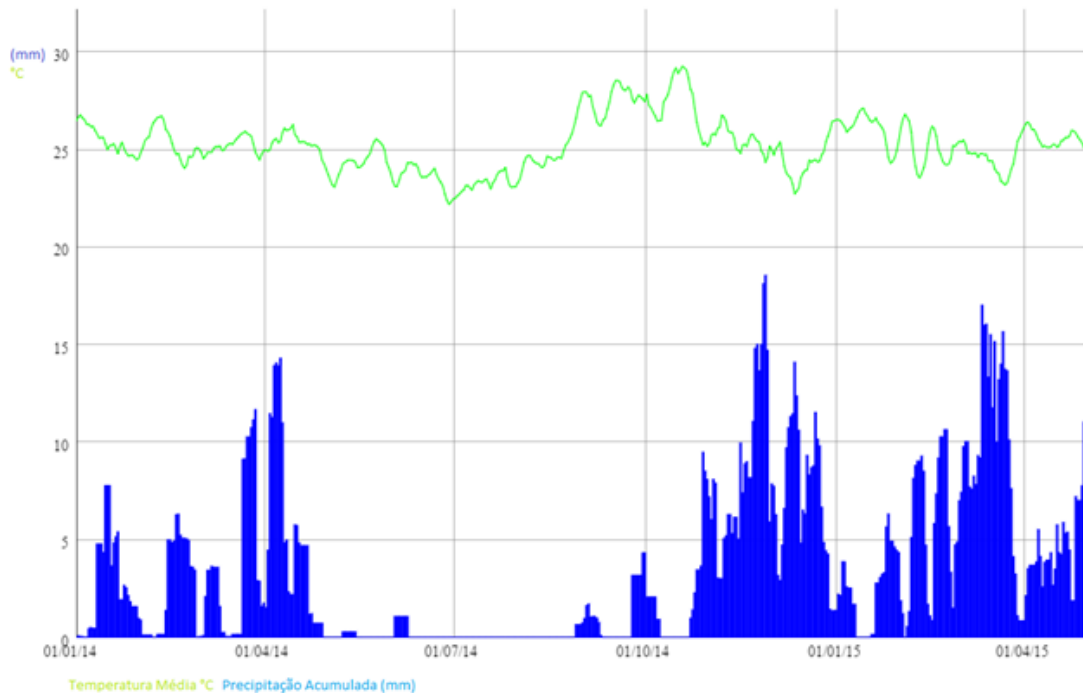
O município de Goianésia onde a Unidade Otávio Lage estão instaladas possui uma estação meteorológica automática controlada pelo INMET. Os dados da estação são disponibilizados pelo Sistema de Monitoramento Agrometeorológico – Agritempo em plataforma *online* (AGRITEMPO, 2016).

O período que compreende o plantio, o desenvolvimento vegetativo e a maturação cana-de-açúcar na Unidade Otávio Lage foi considerado para análise da precipitação acumulada e temperatura média no município de Goianésia. O sistema de plantio da Unidade Otávio Lage é baseado na cana de ano e meio e configura-se da seguinte maneira: o plantio da cana-de-açúcar compreende o período de janeiro a março, o desenvolvimento vegetativo de abril a agosto e a maturação que abrange o período de setembro a abril.

A safra na Unidade Otávio Lage inicia-se em abril, justamente no final do período da maturação da cana-de-açúcar e termina em dezembro. Dessa forma, os dados analisados correspondem desde o período de plantio da cana até o final da maturação. Para a safra de 2014/2015 o período analisado corresponde aos meses de janeiro de 2013 a abril de 2014. Para a safra de 2015/2016 o período analisado também corresponde aos meses de janeiro de 2014 a abril de 2015. Os dados foram obtidos por meio de pesquisa na plataforma *online* do Agritempo na estação meteorológica automática de Goianésia. Nas Figuras 9 e 10 é possível visualizar o índice de precipitação acumulada (mm) e a temperatura média (°C) durante período que corresponde do plantio à colheita da cana para as safras 2014/2015 e 2015/2016.



**Figura 8** – Precipitação e temperatura: safra 2014/2015. Fonte: (AGRITEMPO,2016)



**Figura 9** – Precipitação e temperatura: safra 2015/2016. Fonte: (AGRITEMPO,2016)

Os dados apresentados possibilitam a análise da relação entre acúmulo de chuva e temperatura média com a qualidade do etanol produzido pela Unidade Otávio Lage.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de algumas análises laboratoriais realizadas no processo industrial da produção de etanol da Unidade Otávio Lage, foram disponibilizados pela empresa e podem ser observadas nas tabelas seguintes, juntamente com a precipitação acumulada e a temperatura média. Na Unidade Otávio Lage a planta industrial produz apenas álcool hidratado.

Todos os dados estão alocados de acordo com a safra correspondente, ou seja, a safra 2014/2015 corresponde ao período de janeiro/2013 à abril/2014. A safra 2015/2016 corresponde ao período de janeiro/2014 à abril/2015. A temperatura média no município de Goianésia não sofreu variações significativas entre as safras 2014/2015 e 2015/2016. Os resultados apresentados são referentes aos valores acumulados durante as safras.

Para melhor visualização dos dados as tabelas foram divididas por amostra analisada, ou seja, Mosto, Pé de Cuba, Vinho a Centrifugar, Vinho Centrifugado, Destilaria e Qualidade do Etanol. A Tabela 5 mostra as análises referentes ao mosto.

**Tabela 5** – Análises referentes ao mosto.

Safra	Precipitação Acumulada (mm)	Mosto	Brix %	Pol %	ART %	pH	Acidez Sulfúrica (g/L)
2014/2015	123		17,33	14,96	16,60	5,98	0,430
2015/2016	107		17,41	14,15	15,80	5,80	0,477
Diferença	16		0,08	0,81	0,8	0,18	0,047

Na Tabela 6 são apresentados o controle de resultados referentes ao pé de cuba utilizado durante a fermentação alcoólica, e na Tabela 7 as análises referentes ao vinho centrifugado.

**Tabela 6** - Análises referentes ao pé de cuba

Safra	Precipitação Acumulada (mm)	Pé de Cuba	Teor de Leveduras %	pH	Glicerol %
2014/2015	123		31,35	2,50	0,184
2015/2016	107		33,78	2,85	0,204
Diferença	16		2,43	0,35	0,02

**Tabela 7** – Análises referentes ao vinho a centrifugar

Safra	Precipitação Acumulada (mm)	Vinho a Centrifugar	PH	Teor de Leveduras %	Teor Alcoólico °GL	ART %	Acidez Sulfúrica (g/L)	Viabilidade %	Brotamento %	Glicerol %
2014/2015	123		4,1	11,38	7,98	0,09	1,52	81,24	8,96	0,389
2015/2016	107		4,1	10,77	8,31	0,16	1,40	84,4	11,08	0,394
Diferença	16		0	0,61	0,33	0,07	0,12	3,16	2,84	0,005

Na Tabela 8 o controle do resultados referentes ao vinho centrifugado são apresentados.

**Tabela 8** - Análises referentes ao vinho centrifugado

Safra	Precipitação Acumulada (mm)	Vinho Centrifugado	Teor Alcoólico °GL	Teor de Leveduras %
2014/2015	123		8,28	0,94
2015/2016	107		8,50	0,81
Diferença	16		0,22	0,13

O controle dos resultados industrial referentes a destilaria é apresentado na Tabela 9.

**Tabela 9** - Análises referentes a destilaria

Safra	Precipitação Acumulada (mm)	Destilaria	Teor Alcoólico °GL: <i>Vinhaça</i>	Teor Alcoólico °GL: <i>Flegmaça</i>
2014/2015	123		0,034	0,050
2015/2016	107		0,030	0,056
Diferença	16		0,004	0,006

Em relação ao etanol hidratado as análises referentes à qualidade podem ser observadas na Tabela 10.

**Tabela 10** – Análises referentes a qualidade do etanol

Safra	Precipitação Acumulada (mm)	Qualidade do Etanol	Teor Alcoólico °INPM	Acidez Acética (mg/L)	pH	Condutividade (µs/m)
2014/2015	123		93,5	5,09	6,95	61
2015/2016	107		93,06	8,99	7,91	68
Diferença	16		0,44	3,9	0,96	7

Os resultados das análises referentes ao processo industrial fermentativo para a produção do etanol nas duas últimas safras, na Unidade Otávio Lage, permitiu uma correlação com o acúmulo de chuvas no município de Goianésia. No período correspondente a safra de 2014/2015 foi observado um maior volume de precipitação acumulada. Em relação às análises pontuais da fabricação do etanol alguns pontos foram significativos.

Na análise do mosto disposto na Tabela 5, o teor de pol e ART apresentaram redução de 0,81% e 0,8% na safra 2015/2016 respectivamente, o que pode trazer prejuízos para conversão de etanol no final do processo, visto que a pol e o ART são uns dos principais parâmetros utilizados para determinação da qualidade do etanol. Segundo Fernandes (2011), quanto menor a porcentagem de pol e ART encontrada no mosto, menor também será a concentração de sacarose presente no processo comprometendo o rendimento efetivo de etanol no processo de fermentação alcoólica.

No vinho a centrifugar representado na Tabela 7, a viabilidade celular teve aumento de 3% em 2015/2016, mas se manteve entre 80 e 90% valores ideais para garantir o reaproveitamento do fermento. Em relação à análise qualidade do etanol apresentada na Tabela 10, o teor alcoólico do etanol hidratado sofreu uma redução de 0,44% o que significa perda no processo de conversão industrial do produto, apesar de não ser tão significativa a redução do teor alcoólico afeta o rendimento industrial e consequente prejuízos.

No entanto, a acidez acética sofreu um acréscimo de 3,9% o que reflete na redução da eficiência no processo de produção. Segundo (JUNIOR *et al.*, 2010) acidez acética eleva os custo de produção além de afetar a qualidade do etanol.



Na safra 2015/2016 a produção de etanol foi de 146.275.355 litros sendo 11% maior do que a safra 2014/2015 onde a produção foi de 129.771.516 litros de etanol. O rendimento do processo industrial referentes à fermentação, a destilaria e ao etanol são apresentados na Tabela 11.

**Tabela 11** - Rendimentos industriais

Safra	Precipitação Acumulada (mm)	Rendimento do Etanol	Rendimento da Fermentação %	Rendimento da Destilaria %	Rendimento do etanol (L/t)
2014/2015	123		91,96	91,79	81,35
2015/2016	107		91,23	90,47	81,10
Diferença	16		0,73	1,23	0,25

A Tabela 11 apresenta redução nos rendimentos verificados na safra 2015/2016 da Unidade Otávio Lage em relação a fermentação, a destilaria e ao etanol. Apesar da produção de etanol ter sido 11% maior durante a safra 2015/2016 os rendimentos formam menores. Isso significa que a empresa precisou aumentar a moagem, ou seja, foi necessário moer mais cana-de-açúcar para a produção de etanol do que na safra de 2014/2015.

A queda nos rendimentos na safra 2015/2016 pode ter sido devido ao decréscimo de chuva no último ciclo da cana. Segundo Agritempo (2016), durante o período de maturação da safra 2015/2016, entre setembro/2014 à abril/2015, a precipitação apresentou um acréscimo de 13% em relação à safra 2014/2015. Segundo Figueiredo *et al.*, (2008) altos índices de precipitação e alterações na temperatura do ambiente podem influenciar no rendimento da fermentação. Segundo Mauri (2012) a cana-de-açúcar necessita de um período seco e/ou frio para maturação.

Dessa forma, a redução dos rendimentos industriais na safra de 2015/2016 pode ter ocorrido devido ao excesso de chuva durante o período de amadurecimento da planta, provocando a deterioração dos colmos da planta, já que a cana-de-açúcar não suporta níveis elevados de umidade durante esse período.

## 5. CONCLUSÃO

As influências dos fatores climáticos no processo produtivo da fabricação de etanol, na Unidade Otávio Lage, foram significativos em relação a algumas análises apresentadas no presente estudo. Com a redução da precipitação durante o período, janeiro/2013 à abril/2014, a safra de 2015/2016 verificou a redução da pol no mosto em 0,8% e da porcentagem do ART no mosto em 0,81%, o que pode ser prejudicial para a conversão dos açúcares em etanol.

Aspectos negativos com a redução da precipitação foram observados nas análises que determinaram os parâmetros da qualidade do etanol. A acidez acética sofreu um aumento de 3,9% em relação à safra de 2014/2015 e o teor alcoólico foi reduzido em 0,44 °INPM. No entanto, não é correto afirmar que a responsabilidade seja em potencial das interferências dos fatores climáticos.

A redução dos rendimentos industriais na safra 2015/2016 podem ter ocorrido devido ao acúmulo de chuvas em excesso período de maturação, setembro/2014 à abril/2015, visto que, no período de maturação da cana-de-açúcar, a planta não tem respostas positivas referentes ao acúmulo de sacarose caso haja excesso de umidade.

Sendo assim, o acúmulo de chuvas caracteriza-se como um parâmetro em potencial para a produção do etanol, visto que influenciam diretamente na qualidade da matéria-prima e consequentemente na qualidade do etanol e rendimento industrial.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRITEMPO. (2016). *Estatísticas*. Fonte: Sistema de Monitoramento Agrometeorológico: [www.agritempo.gov.br](http://www.agritempo.gov.br)
- ALMEIDA, A. C. (2008). Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. . *Ciênc. agrotec.,(Impr.)*, v. 32, n. 5, p. 1441-1448.
- ALVARENGA, A. P. (2010). A doçura do açúcar. Inmetro - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
- AMORIM, H. d., & LEÃO, R. M. (2005). Fermentação alcoólica: ciência e tecnologia. *Piracicaba: Fermentec*.
- BRISOLA, D. F., & FERNANDES, T. d. (2008). Otimização no preparo de amostras para análise em espectrofotômetro de fluorescência de raios X. *XVI Jornada de Iniciação Científica–CETEM*, p. 202-208.
- NOVA CANA. *Controle de qualidade: especificações do etanol*. Fonte: [www.novacana.com](http://www.novacana.com). Acesso (12/01/2016).
- CHIEPPE JÚNIOR, J. B. (2012). *Tecnologia e fabricação do álcool*. Instituto Federal de Goiás. Inhumas - Goiás.
- COELHO, T. A., & DE SOUZA, P. H. (2012). CANA-DE-AÇÚCAR E AS INFLUÊNCIAS CLIMÁTICAS NA SUA PRODUÇÃO: CONSIDERANDO O BALANÇO HÍDRICO NO MUNICÍPIO DE RIO CLARO/SP. *Jornada Científica da Geografia*. Universidade Federal de Alfenas - MG.
- CONAB, C. N. (2015). *Acompanhamento da safra brasileira - Cana-de-Açúcar - V. 2 - SAFRA 2015/16- N.3 - Terceiro levantamento | DEZEMBRO 2015*.
- DAL BEM, A. J., KOIKE, G. H., & PASSARINI, L. C. (2003). Modelagem e simulação para o processo industrial de fabricação de açúcar e álcool. *Minerva*, 33-46.
- DE CASTRO, H. F. (2011). *Processos Químicos Industriais: Indústria Alcooleira*. Escola de Engenharia de Lorena. Lorena-SP.
- DE SOUZA JR, M. B. (2007). *Desenvolvimento de processo de hidrólise enzimática e fermentação simultâneas para a produção de etanol a partir de bagaço de cana-de-açúcar*.

- Usina Santa Elisa (2005). Fluxo esquemático para fabricação de produtos derivados da cana-de-açúcar. Fonte: <http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/files/2rE011/10/PocessoProdutivoEtanol.pdf>.
- ERNANDES, F. M., & GARCIA, C. H. (2009). *Zymomonas mobilis*: um microrganismo promissor para a fermentação alcoólica. *Semina: Ciências Agrárias*.
- FAO. (2015). *Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. PERSPECTIVAS AGRÍCOLAS 2015-2024*.
- FELIPE, M. d. (2014). RAW MATERIAL QUALITY IN THE PRODUCTION OF SUGARCANE ETHANOL. Em L. A. CORTEZ, *Sugarcane bioethanol — R&D for Productivity and Sustainability* (pp. p. 553-560). São Paulo: Blucher.
- FERNANDES, A. C. (2011). *Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar*. . Piracicaba: Stab.
- FIGUEIRREDO, I. C., MACIEL, B. F., & MARQUES, M. O. (2008). A qualidade da cana-de-açúcar como matéria prima para produção de álcool. *Nucleus*.
- HAMERSKI, F. (2009). Estudo de variáveis no processo de carbonatação do caldo de cana-de-açúcar. Tese de Doutorado . *Universidade Federal do Paraná*.
- INMET. (2016). *Estações e Dados*. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)
- JALLES MACHADO SA. *Produtos e Localização*. Disponível em: [www.jallesmachado.com](http://www.jallesmachado.com). Acesso: 29/12/2015. (s.d.).
- JUNIOR, L. C., DA SILVA, J. D., NETO, H. F., MARQUES, D., & MARQUES, M. O. (2010). VARIÇÃO NA ACIDEZ DO CALDO DE CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR.
- KOHLHEPP, G. (2010). Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. *Estudos avançados*, v. 24.
- LINS, C. M., & BERTOLLI, S. (2008). Evolução e influência do petróleo na economia brasileira. . *Intertem@ s ISSN 1677-1281*.
- LISBOA, L. A. (2015). CONTAMINAÇÕES EM CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR: UMA AVALIAÇÃO TEMPORAL/CONTAMINATIONS IN SUGARCANE JUICE: A TIME EVALUATION. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 279-288.

- LUCARINI, A. C., SILVA, L. D., & BIANCHI, R. A. (2004). Um sistema para a contagem semi-automática de microorganismos. *Revista pesquisa e tecnologia FEI, São Bernardo do Campo*, v. 26, p. 36-40.
- MANOCHIO, C. (2014). *PRODUÇÃO DE BIOETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR, MILHO E BETERRABA: UMA COMPARAÇÃO DOS INDICADORES TECNOLÓGICOS, AMBIENTAIS E ECONÔMICOS*.
- MAPA, M. d.-S. (2007). *AÇÚCAR E ÁLCOOL NO BRASIL*.
- MARIN, F. R. (2008). Clima: cana-de-açúcar. *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA*.
- MARTINS, P. A. (2007). Análises físico-químicas utilizadas nas empresas de Vinificação necessárias ao acompanhamento do processo de elaboração de vinhos brancos. *Rio Grande do Sul, Título de graduação, CEFET-BG*.
- MAURI, R. (2012). Relações hídricas na fase inicial de desenvolvimento da cana-de-açúcar submetida a déficit hídrico variável. *Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*.
- MME, M. d.-B. (2015). *Resenha Energética Brasileira – Exercício de 2014*.
- MONTEGUTTI, R. F., & STANGE, C. E. (2008). O USO DO COMPUTADOR NO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM EM BIOLOGIA.
- NASCIMBENI, F. A. (2013). *Avaliação da produção biológica de hidrogênio em reator em batelada sob condição termófila. Universidade de São Paulo*.
- Naves, R. F. (2010). Contaminação microbiana nas etapas do processamento e sua influência no rendimento fermentativo em usinas alcooleiras. *Centro Científico Conhecer, Goiânia*, v. 6, n. 11.
- NETO, V. C., & RAMON, D. (2002). *Análises de opções tecnológicas para projetos de cogeração no setor sucro-alcooleiro*. Brasília, DF.
- NOGUEIRA et al, L. A. (2008). *Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável*. BNDES. Rio de Janeiro.
- NOVAKI, L. (2009). Produção purificação e caracterização parcial da invertase obtida por fermentação em estado sólido de soja com *Aspergillus caseiellus*. *Processos Químicos e Bioquímicos - Universidade Estadual do Oeste do Paraná–UNIOESTE*.
- OHASHI, F. H. (2008). "O advento, crescimento, crise e abandono do Proálcool".

- PASCHOALINI, G., & ALCARDE, V. E. (2009). Estudo do processo fermentativo de usina sucroalcooleira e proposta para sua otimização. *Revista Ciênc & Tecnol*, v. 16, n. 32, p. 59-68,.
- PEREIRA, P. A., & DE ANDRADE, J. B. (1998). Fontes, reatividade e quantificação de metanol e etanol na atmosfera. *QUÍMICA NOVA*.
- PRADO, J. L. (2014). Uso de antibióticos convencionais e antimicrobianos a base de lúpulo no controle da infecção bacteriana em fermentação alcoólica.
- RIBEIRO, C. A., BLUMER, S. A., & HORII, J. (1999). *Fundamentos da Tecnologia Sucroalcooleira: Tecnologia do álcool*. Piracicaba.
- ROSSETTO, R., & SANTIAGO, A. D. (2007). Plantio da cana-de-açúcar. *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA*.
- SANTANA, C. R. (2006). O aprofundamento das relações do Brasil com os países do Oriente Médio durante os dois choques do petróleo da década de 1970: um exemplo de ação pragmática. *Revista Brasileira de Política Internacional*. *Revista Brasileira de Política Internacional*.
- SANTOS, F. A. (2013). AVALIAÇÃO DO PRÉ-TRATAMENTO HIDROTÉRMICO DE PALHAS DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO. *Tese de Doutorado*. Universidade Federal de Viçosa.
- SANTOS, F., COLODETTE, J., & QUEIROZ, J. (2013). *Bioenergia e biorrefinaria: cana-de-açúcar e espécies florestais*. Viçosa - MG: Suprema Gráfica e Editora Ltda.
- SOUZA, C. S. (2009). Avaliação da produção de etanol em temperaturas elevadas por uma linhagem de *S. cerevisiae*. *Tese de Doutorado*. Instituto Butantan.
- SOUZA, V. F. (2014). Análise da cadeia produtiva do etanol e do biodiesel.
- TONET, A. (2007). *Avaliação de Quatro Leveduras para a Produção de Espumante pelo Método Champenoise*. *Monografia de graduação*, CEFET-BG. Bento Gonçalves - RS.
- TONIN, J. R., & MATHEUS TONIN, J. (2014). Do Proálcool ao “Próetanol”: novos desafios na produção do etanol brasileiro. *revista. gepec*, v. 85903.
- VIAN, C. E. (2008). Qualidade da Matéria-Prima. *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA*.
- WISSMANN *et al.*, M. A. (2014). Evolução do cultivo da cana-de-açúcar na região Centro-Oeste do Brasil. *Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional*.