



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO REGIONAL
Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira



MARLON VINICIO PINHEIRO DA SILVA

**COMPORTAMENTO DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA PARA PRODUÇÃO
DE CACHAÇA COM E SEM CONTROLE DA TEMPERATURA EM DIFERENTES
CONCENTRAÇÕES DE BRIX E pH**

João Pessoa/PB

2019

Marlon Vinício Pinheiro da Silva

**COMPORTAMENTO DA FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA PARA PRODUÇÃO
DE CACHAÇA COM E SEM CONTROLE DA TEMPERATURA EM DIFERENTES
CONCENTRAÇÕES DE BRIX E pH**

Trabalho de Conclusão do Curso de Tecnologia em
Produção Sucroalcooleira do Centro de Tecnologia e
Desenvolvimento Regional da Universidade Federal
da Paraíba, como requisito para a obtenção do grau
de Tecnólogo em Produção Sucroalcooleira.

Orientador(a): Prof Dr. Kelson Carvalho Lopes

João Pessoa/PB

2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586c Silva, Marlon Vinicio Pinheiro da.

Comportamento da fermentação alcoólica para produção de cachaça com e sem controle em diferentes concentrações de brix e pH de temperatura em diferentes concentrações / Marlon Vinicio Pinheiro da Silva. - João Pessoa, 2019.

64 f. : il.

Orientação: Kelson Carvalho Lopes.
Monografia (Graduação) - UFPB/CTDR.

1. Cana de açúcar. Fermentação. Cachaça. Planejamento.
I. Lopes, Kelson Carvalho. II. Título.

UFPB/BC

**COMPORTAMENTO DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA PARA PRODUÇÃO
DE CACHAÇA COM E SEM CONTROLE DA TEMPERATURA EM DIFERENTES
CONCENTRAÇÕES DE BRUX E pH**

Marlon Vinício Pinheiro da Silva

TCC aprovado em 3/5/19 como requisito para a conclusão do curso de
Tecnologia em Produção Sucoalcooleira da Universidade Federal da Paraíba.

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Kelson Carvalho Lopes - (UFPB – Orientador)



Prof.ª. Dr.ª. Marcia Helena Pontieri - (UFPB – Membro interno)



Prof. Dr. Fábio de Melo Resende - (UFS – Membro externo)

João Pessoa, 03 de maio de 2019.

DEDICATÓRIA

Dedico em especial a Deus que sempre esteve do meu lado no decorrer desta etapa, pois sem ele não seria possível aos meus pais Rita e Adriano pela força e pelos seus ensinamentos a minha irmã Vanessa muito obrigado, ao professor orientador e amigo Kelson Obrigado !

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Virgem Maria, por ter me dado força, discernimento e sabedoria para ter conseguido transpor todas as barreiras e finalizar mais uma etapa em minha vida.

Aos meus pais Rita de Lourdes e Adriano Sabino, que sempre acreditaram no meu potencial e nunca deixaram que eu ficasse pelo caminho, mas sempre estiveram do meu lado, dando suporte, conselhos e incentivando sem vocês isso não seria possível. A Minha Irmã Vanessa, que é símbolo de persistência e coragem, sem esquecer dos meus Sobrinhos, José Mateus e Davi Luís. Tenham certeza, sem vocês não teria chegado até aqui, meu muito obrigado, amo todos vocês!

Ao professor Kelson, pela sua ajuda e orientação que sempre estava disposto para esclarecer todas as dúvidas que surgiam na elaboração do trabalho e foi uma peça chave para finalização dessa caminhada.

Aos amigos que conheci e estiveram junto nessa caminhada em especial, Ana Paula, Joílson, Marcondes de Jesus e Clodenor Emanuel, que sempre estava dando apoio e incentivando.

Aos Técnicos dos laboratórios que estavam sempre presentes e colaborando e incentivando, só posso dizer que vocês se tornaram amigos, levarei essas experiências de Diego, José Carlos, Hébert Henrique, Claudia Gouveia, de profissionais que exerce com ética e respeito as missões que são repassadas.

A todos os professores do Centro que engrandeceram com seus conhecimentos repassados e tiveram participação em cada palavra escrita nesse trabalho.

Ao engenho São Paulo, na pessoa do gerente Wellington, pelo fornecimento do caldo de cana e pé de cuba, utilizados neste trabalho.

“Não há conquistas fáceis. São as estradas sinuosas que levam ao caminho certo. O profissional, em qualquer ofício, alcançará o triunfo a partir de um espírito tenaz, forte, obstinado.”

Afonso Opazo

RESUMO

A cachaça está presente desde o início da colonização do Brasil, não se sabe ao certo onde teve sua primeira destilação, no entanto surgiu em nossos territórios por volta do ano de 1516 e 1532, originando o primeiro destilado da América Latina. Para se manter no mercado a cachaça passou por diversas transformações, implementações e aprimoramentos para afastar os preconceitos que os consumidores tinham em relação ao destilado, no entanto sua imagem vem sendo modificada tanto nacionalmente e internacionalmente e conquistando cada vez mais mercados com produtos de boa qualidade. Focado nesse produto desenvolveu um estudo com objetivo de avaliar o comportamento da fermentação para produção de cachaça, empregando o controle de temperatura e sem realizar este controle, modificando as concentrações de brix e pH, analisando os efeitos desses parâmetros no desenvolvimento celular das leveduras e verificando os principais efeitos de inibição no decorrer da fermentação. Foram realizados os experimentos em dornas de vidros de volume de 8 litros previamente adaptados para inserir os equipamentos e realizar as etapas de fermentação. Ao longo do tempo eram retiradas amostras do vinho e verificado o consumo de substrato, pH do vinho e graduação alcoólica fazendo com que fosse possível comparar as fermentações com controle e sem controle de temperatura e montar uma superfície capaz de demonstrar quais os melhores rendimentos dentre as condições estabelecidas. No decorrer dos experimentos observou-se que na condução da fermentação sem empregar o controle de temperatura ocorreu um prolongamento do tempo para consumir o brix presente no mosto devido redução no metabolismo das leveduras, diferente do que ocorreu com controle de temperatura ocorreu um maior consumo de brix e conseqüentemente maior graduação alcoólica do vinho em um menor tempo. A manutenção de 32 °C nas dornas maximizaram o crescimento celular favorecendo a conversão do açúcar em álcool. O comportamento das leveduras nas concentrações de brix e pH demonstraram o que a literatura recomenda, em relação as fermentações com controle de temperatura os resultados foram bem parecidos sem muitas modificações em relação ao percentual de álcool gerado na dornas, mas em relação ao tempo fermentação ocorreu uma diferença bem expressiva evidenciado que o controle de temperatura é um dos mecanismos a ser empregado no processo.

Palavras-chave: Cana de açúcar. Fermentação. Cachaça. Planejamento de experimentos. Destilação

ABSTRACT

Cachaça is present from the beginning of the colonization of Brazil, until the year 1516 and 1532, originating from the first distillate of Latin America. To have a market of cachaça has undergone several transformations, implementations and improvements to remove the prejudices that the nutritional needs in relation to the destination, nevertheless its image has been modified both nationally and internationally and conquering more and more markets with products of good quality. Focused on this product developed a study with The objective of this work was to evaluate the behavior of the fermentation for the production of cachaça, using the control of temperature and without this control, modifying the concentrations of brix and pH, analyzing the effects of these parameters on the cellular development of the yeasts and checking the main effects during the fermentation. Experiments were carried out on 8-liter volume glass jars previously adapted to insert the equipment and perform the fermentation steps. Over time, samples were taken from the wine and the substrate consumption, wine pH and alcohol degree were checked, making it possible to compare controlled and temperature controlled fermentations and to set up a surface capable of demonstrating the best yields among the conditions. In the course of the experiments it was observed that in the conduction of the fermentation without using the temperature control there was a prolongation of the time to consume the brix present in the must due to reduction in the metabolism of the yeasts, different than that occurred with temperature control occurred a higher consumption of brix and consequently higher alcoholic strength of wine in a shorter time. The maintenance of 32 ° C in the dornas maximized the cellular growth favoring the conversion of the sugar into alcohol. The behavior of the yeast in the concentrations of brix and pH demonstrated what the literature recommends, in relation to the fermentations with temperature control the results were very similar without much modifications in relation to the percentage of alcohol generated in the dornas, but in relation to the time fermentation occurred a very expressive difference evidenced that the temperature control is one of the mechanisms to be employed in the process.

Keywords: Sugar cane. Fermentation. Sugarcane liquor. Experiment planning. Distillation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Processo de produção da cachaça	18
Figura 2- Matéria prima em estoque aguardando	21
Figura 3- Extração do caldo com sistema de embebição.	22
Figura 4 - Reações que ocorrem no processo de fabricação da cachaça que influem no sabor e odor do produto.....	24
Figura 5- Procedimento para extração do caldo	31
Figura 6- (a) Experimento fatorial 2^2 , (b) Experimento composto central com $\alpha = 1$, (c) Experimento de composição central com $\alpha = \sqrt{2}$	33
Figura 7- Mecanismo para transferir o caldo para as dornas	41
Figura 8- Dornas com sensores de temperatura (a), Dornas em funcionamento(b)..	42
Figura 9- Alambique utilizado para produção da cachaça	44
Figura 10- Densímetro digital, utilizado para verificar o °GL e as densidades das amostras(a), titulação das amostras das cachaças(b),Ebuliômetro (c).	45
Figura 11--Superfície de resposta do grau alcoólico G.L, obtido a partir dos fatores de brix e pH, SEM controle de temperatura.	53
Figura 12- Curvas de contorno da resposta do grau alcoólico G.L, obtido a partir dos fatores de brix e pH, SEM controle de temperatura.	54
Figura 13- Superfície de resposta do grau alcoólico G.L, obtido a partir dos fatores de brix e pH, COM controle de temperatura.	56
Figura 14- Curvas de contorno da resposta do grau alcoólico G.L, obtido a partir dos fatores de brix e pH, SEM controle de temperatura.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Estados que mais exportaram cachaça no 1º semestre em 2018	16
Tabela 2- Composição da cana-de-açúcar e sólidos solúveis no caldo	20
Tabela 3- Experimentos de composição central usuais	35
Tabela 4 - Planejamento Fatorial 2 ² com ponto central.	39
Tabela 5 - Experimentos realizado com controle de temperatura e sem o controle de temperatura.	40
Tabela 6 - Estão descritos os parâmetros obtidos durante acompanhamentos das fermentações com e sem controle de temperaturas	46
Tabela 7 - Parâmetros obtidos das análises físico-químicas das amostras das cachaças com controle de temperatura.	50
Tabela 8 - grau alcoólico G.L, obtido a partir dos fatores de brix e pH, SEM controle de temperatura.	52
Tabela 9 - grau alcoólico G.L, obtido a partir dos fatores de brix e pH, COM controle de temperatura.	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVO	14
2.1.1 Objetivo geral	14
2.1.2 Objetivos específicos	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 Cana-de-açúcar	15
3.2 Denominação e potencialidade da cachaça	15
3.3 Processos de fabricação da cachaça	17
3.3.1 Matéria Prima	19
3.3.2 Recepção e armazenamento da matéria prima	21
3.3.3 Extração do caldo	22
3.3.4 Tratamento e Filtração do caldo	23
3.3.5 Diluição do caldo	23
3.3.6 Fermentação alcoólica	23
3.3.7 Fatores que inibem a fermentação alcoólica	25
4 MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1 Cana-de-açúcar	30
4.1.1 Preparo da matéria prima para fermentação	30
4.2 Elaboração do planejamento de experimentos para iniciar a fermentação	32
4.2.1 Experimento composto central	32
4.2.2 Superfície de resposta	36
4.2.3 Introdução a modelos de superfície de resposta	36
4.2.4 Planejamento fatorial 2 ² com ponto central	39
4.3 Destilação do vinho fermentado	43
4.4 Análises físico químicas da cachaça	44
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1 pH, brix e temperatura	46
5.2 Superfícies de Resposta e Curvas de contorno	52
5.2.1 Sem controle de temperatura	52
5.2.2 Com controle de temperatura	55
6 CONCLUSÕES	58

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	59
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

1 INTRODUÇÃO

Falar da cachaça não é simplesmente descrever sobre qualquer bebida, mas sim descrever um produto que nasceu com as cores da bandeira do nosso país, produto que está difundido não só no Brasil, mas no mundo. A bebida carrega consigo fatos históricos que só ela presenciou, talvez seja por isso que é considerado um produto autêntico e genuinamente brasileiro, esse título não foi conquistado por acaso, mas simplesmente por sua história que está presente desde os primórdios da colonização do Brasil. De modo geral podemos afirmar que desde o início do século XVII a bebida já era fabricada, uma aguardente de caldo de cana (CASCUDO, 2006).

Quando surgiu nos engenhos brasileiros a bebida era tida como um produto secundário e de baixo valor agregado, sua produção era absorvida por classes sociais com poder aquisitivo mais baixo e com isso o seu volume de produção era reduzido. A cachaça surgiu como um produto de baixo valor comercial e pequeno volume de produção nos engenhos (SOUZA, 2004).

Não se sabe ao certo onde deu início sua primeira destilação, no entanto, podemos afirmar que surgiu em nosso território por volta do ano de 1516 e 1532 originando o primeiro destilado da América Latina (IBRAC, 2018).

Para se manter no mercado, a cachaça teve que passar por diversas transformações, aprimoramentos e investimentos em tecnologias. Esse agronegócio passou um determinado período de inércia, mas os produtores se viram obrigados a mudarem seus modos de produção pois seus clientes queriam algo novo e sofisticado. Todos esses esforços para desenvolver um produto com *design*, adequações a normas técnicas e materiais utilizados com padrões exigidos acarretam custos, mas é uma boa alternativa para agregar valor ao produto (VERDI, 2006)

Podemos observar que essas mudanças em pequenos engenhos são sentidas. Muitas das vezes eles acabam fechando por falta de investimentos e os altos custos dos maquinários e equipamentos e mão de obra qualificada. Muitas propriedades ainda possuem atividades secundárias e rudimentares são administradas com alta informalidade (JÚNIOR, 2017).

A cachaça cada dia mais vem ganhando o seu espaço e se tornando um produto apreciado e cobiçado por muitos admiradores, com o tempo e evoluções tecnológicas a cachaça acabou ganhando cor, sabor e variações que há tempos

atrás não se imaginária, isso fez com que a nossa bebida galgasse outros horizontes, novos países e culturas diferentes. No entanto, nunca vai perder a sua essência e originalidade, pois cachaça com este nome e matéria prima só vai existir no Brasil. ***Desta forma Cachaça é a denominação típica e exclusiva da Aguardente de Cana produzida no Brasil com graduação alcoólica que varia entre 38-48 % a 20 °C*** (BRASIL, 2005) .

É fato que este produto ainda sofre por preconceitos, muitas vezes associados a um produto sem qualidade, mas cachaça hoje em dia deixou de ser um produto absorvido apenas no mercado interno e acabou ganhando mercados internacionais que antes não podíamos nem sequer imaginar, desta maneira vem acabando com o preconceito. Dados afirmam que ela está tendo sua imagem modificada no decorrer do tempo devido a mercados internacionais. (SILVA et al, 2010).

Na elaboração da cachaça existe alguns fatores que interferem diretamente na sua produção. São elas: pH, temperatura, matéria prima, contaminações bacterianas e graduação alcoólica. Com foco nesses parâmetros foi desenvolvido um estudo para verificar a influência de cada parâmetro na fermentação alcoólica.

2 OBJETIVO

2.1.1 *Objetivo geral*

Observar o comportamento da fermentação alcoólica em temperaturas controladas e sem controles das temperaturas em diferentes concentrações de Brix e pH.

2.1.2 *Objetivos específicos*

- Realizar a etapa de fermentação alcoólica, variando a concentração de brix e pH, com e sem controle de temperatura;
- Analisar o andamento da fermentação e realizar a leitura de brix, pH e graduação alcoólica no decorrer da fermentação;
- Verificar o quanto a temperatura interfere na fermentação alcoólica;
- Destilar o vinho fermentado obtido em diferentes concentrações de brix e pH;
- Determinar a acidez da cachaça produzida;
- Gerar as superfícies de resposta para as duas situações propostas;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Cana-de-açúcar

A cana-de açúcar é uma herbácea, pertence à família das gramíneas mais precisamente da espécie *Saccharum officinarum* L, tem suas adaptações em climas tropicais e subtropical. (ALBUQUERQUE, 2012).

OS primeiros contatos com a cana-de-açúcar foram na Nova Guiné e disseminada na Índia (HISTÓRIA DA CANA, 2006). A cana-de- açúcar foi responsável por desenvolver a economia brasileira nos dois primeiros séculos fazendo com que sua colonização desenvolvesse de forma mais significativa. (MOKFA, 2015).

3.2 Denominação e potencialidade da cachaça

Cachaça é denominação típica e exclusiva da aguardente de cana produzida no Brasil, ficando estabelecido sua graduação alcoólica de 38% a 48% a 20 °C obtido pela destilação do mosto fermentado do caldo de cana (BRASIL, 2005).

A cachaça produzida em alambique de cobre oferece um sabor mais suave, isto é decorrente do material em que a bebida foi destilada, realçando o sabor e odor que só esses materiais oferece ao destilado (LIMA et al., 2006) .

A bebida é apreciada devido ao seu sabor e aroma, decorrentes da fermentação e destilação isso faz com que a bebida se torne um produto com características sensoriais variados (ODELLO et al.,2009)

O destilado é produzido em praticamente todos os estados do Brasil, gerando emprego e renda direta e indiretamente. Sabemos que sua produção movimentava o mercado financeiro e tem representado bem esse setor, nacionalmente e internacionalmente. A tabela 1 mostra os maiores exportadores de cachaça do 1º semestre de 2018

Tabela 1-Estados que mais exportaram cachaça no 1º semestre em 2018

EXPORTAÇÕES DE CACHAÇA POR ESTADOS			
Período de janeiro a junho de 2018			
CLASSIFI	ESTADO	VALOR US\$	% PARTIC
1º	São Paulo	4.332.583	54,17
2º	Rio de Janeiro	1.058.973	13,24
3º	Paraná	819.424	10,25
4º	Pernambuco	594.775	7,44
5º	Ceará	499.372	6,24
6º	Rio Grande do Sul	330.347	4,13
7º	Minas Gerais	277.204	3,47
8º	Bahia	39.438	0,49
9º	Goiás	25.952	0,32
10º	Paraíba	13.490	0,18
11º	Mato Grosso do Sul	3.837	0,05
12º	Rio Grande do Norte	1.535	0,02
13º	Alagoas	54	0
EXPORTAÇÃO DE CACHAÇA NO PERÍODO			7.997.98 US\$

Fonte: Mapa da cachaça (2018)

De acordo com Sebrae (2012) podemos dizer que o mercado de bebida no Brasil se divide em dois grupos os fermentados compostos por cerveja e vinhos e os destilados, formados por cachaça, whisky e vodca. Desta forma observamos que a bebida tem concorrentes variados e consumidores bem diversificados. Dentre dessas diversificações de bebida no nosso país a cachaça ocupa o segundo lugar das mais consumidas, ficando atrás apenas da cerveja. (SEBRAE, 2012).

Segundo Souza (2015) a produção de cachaça é dividida em duas partes, processos contínuos destilados em coluna, chegando ao volume de 1,3 bilhão de litros e batelada produzidos 200 milhões destilados em alambique (SOUZA, 2015). A produção é influenciada basicamente por volume de produção e diminuição dos custos do produto. Na elaboração de uma garrafa em processos industriais se gasta R\$ 0,46 a 0,48, na artesanal é cerca de R\$ 1,20 (VERDI, 2006)

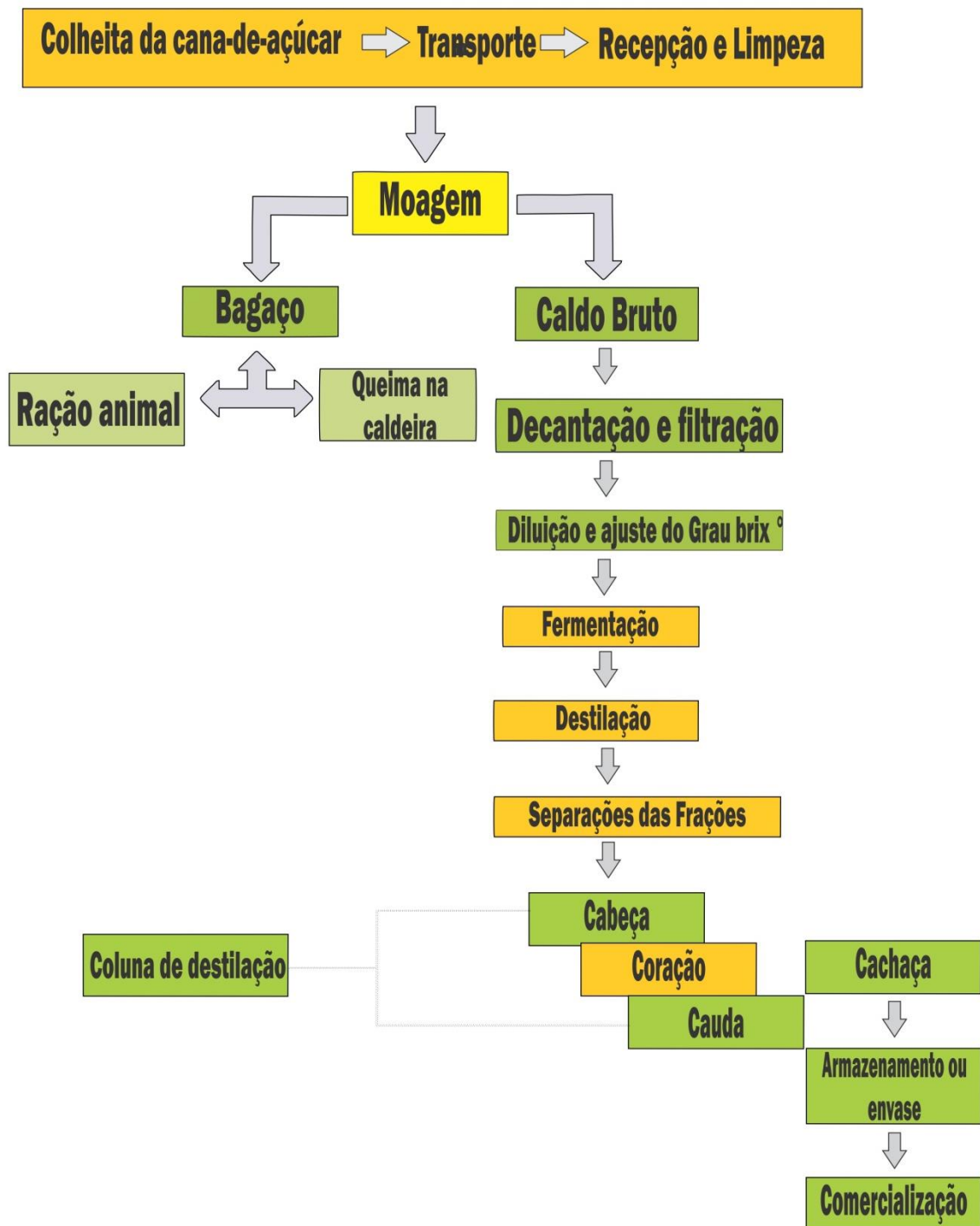
De acordo com o Mapa (2018) no primeiro semestre de 2018 de janeiro a junho, os Estados Unidos foram os que mais compraram a nossa bebida, ficando à frente da Alemanha, Paraguai e Portugal. Isto demonstra que cada vez a bebida está ganhando o mundo e a preferência de consumidores estrangeiros.

3.3 Processos de fabricação da cachaça

De acordo com Vidal et al, 2008 a produção envolve os grandes, médios e pequenos produtores, no entanto os grandes produtores são mais favorecidos devido à redução nos custos e conseguem fornecer os seus produtos as classes C e D. Pode-se dizer que os pequenos produtores não conseguem atender todo o mercado devido ao custo de produção encarecendo o produto, ficando restringido a uma pequena parcela que consome seus produtos .

Na Figura 1 Podemos observar o processo envolvido na realização do processamento da matéria prima e obtenção do produto, todos os processos estão sendo ilustrados da seguinte forma: colheita da cana-de-açúcar, Extração do caldo , fermentação e destilação.

Figura 1- Processo de produção da cachaça



Fonte: Do autor (2019)

3.3.1 *Matéria Prima*

De acordo com Margulis et al, 2010 a 2100 mudanças no clima serão sentidas em diferentes regiões brasileiras. As bacias hidrográficas terão redução principalmente no Nordeste, no entanto a cana sobreviverá e não sofrerá tanto com mudanças climáticas. A cana de açúcar tem grande potencial de desenvolvimento e se adapta bem ao nosso clima tropical.

Características da planta devem ser consideradas: colmo, sacarose, rápido desenvolvimento inicial, fechamento das entrelinhas, despalha espontânea, ausência de joçal e baixo teor de fibras. Isso faz que se ganhe em produtividade (SALES 2013).

Na produção da cachaça um dos principais interesses está no mosto que é composto por macro e micro nutrientes. Sua degradação é acelerada devido, temperatura e pH que facilitar o aparecimento de bactérias, mantendo a manutenção da microbiota (Junior, 2005) . É recomendável que a cana colhida na lavoura seja processada dentro de um limite máximo de até 24 h. Isso minimiza a degradação da matéria prima e reduz as contaminações bacteriológicas (SOUZA et al, 2013). Outro fator importante na industrialização da cana-de-açúcar é a maturação, indicando que a cana está pronta para ser processada (Galdiano, 2008).

Pode-se dizer que a colheita da cana deve ser realizada quando atingir o estágio de maturação, ficando evidente quando seu teor de sólidos totais atinge o percentual de 18 a 26 brix. Muitas das vezes este valor é influenciado de acordo com a variedade (VILELA, 2005).

A cana de açúcar é composta por sólidos solúveis entre outros componentes, que variam na sua composição como pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2- Composição da cana-de-açúcar e sólidos solúveis no caldo

Componentes da cana de açúcar	(%) em massa na cana-de-açúcar
Água	73-76
Sólido	24-27
Sólidos solúveis	10-16
Fibra (seca)	11-16
Constituinte do caldo de cana	(%) e sólidos solúveis
Açúcares	75-92
Sacarose	70-88
Glicose	2-4
Frutose	2-4
Sais	3,0- 4,5
Ácidos orgânicos	1,5-5,5
Ácidos carboxílicos	1,0-3,0
Aminoácidos	0,5-2,5
Outros não açúcares orgânicos	
Proteínas	0,5-0,6
Amido	0,001-0,100
Gomas	0,30-0,60
Ceras, Gorduras, fosfolipídios	0,05-0,15

Fonte: Chen Chou 1993 apud Hamerski (2009)

3.3.2 Recepção e armazenamento da matéria prima

A cana recebida no engenho deve ser estocada sobre uma superfície elevada do solo facilitando assim a limpeza com um tempo máximo de processamento de até 24 h , preferencialmente perto do local de extração do caldo (SOUZA, 2013) .Pode-se dizer que esse tempo de processamento muitas das vezes é ultrapassado devido à quebra de moendas, chuva , isto faz com que a cana fique mais tempo em exposição , ocorrendo a degradação e a inversão da sacarose (NOGUEIRA et al, 2005).

Os principais fatores que facilitam a degradação do caldo é a alta concentração de água e nutrientes, que proporcionam a manutenção de fungos e bactérias (KUNITAKE, 2012). Para tentar minimizar essas contaminações recomenda a lavagem da cana, retirando as impurezas como areia, cinzas, pedras, evitando assim desgaste exagerado nas moendas (SILVA, 2008). Na Figura 2 - podemos observar a área de armazenamento da matéria prima para ser processada

Figura 2- Matéria prima em estoque aguardando



Fonte: Do autor (2019)

3.3.3 Extração do caldo

A moenda está presente desde o Brasil colônia , onde foi incorporada na produção em engenhos de cana-de-açúcar era equipamento rústico movido por tração animal, com baixa .Com o passar do tempo as moendas passaram por diversas implementações e modernização , aumentando sua eficiência de extração podendo chegar de 97 % a 97,5 % de eficiência (NOVACANA, 2018). O alcance desses resultados estão ligados diretamente ao preparo da matéria prima, realizado através de máquinas, desfibradores ou por seus próprios ternos de moenda (PAYNE, 1989).

O bagaço oriundo da extração do caldo tem um alto valor agregado, é cada vez mais cobiçado por indústrias que necessitam desse produto para alimentar suas caldeiras. Com isso surgiram empresa especializadas na venda desse produto (CANAONLINE, 2016). Pode-se afirmar que a busca constante de desenvolvimento e aprimoramento nesse setor é fator importantíssimo para redução de custos, inovação tecnológicas e qualidade de produção. A Figura 3 – ilustra a extração do caldo, realizado através de terno onde a matéria prima é processada e extraída o caldo de cana esse processo tem sua eficiência otimizada com sistema de embebição

Figura 3- Extração do caldo com sistema de embebição.



Fonte: Do autor (2019)

3.3.4 Tratamento e Filtração do caldo

De acordo Ceballos- Schiavone (2009) as contaminações do caldo têm sua origem na cana-de açúcar e outros minerais que vem do campo até a indústria, muitas das vezes essas contaminações são dos próprios equipamentos com falta de higienização. Segundo Lopes (2011) o caldo extraído tem uma quantidade grosseira de bagacilhos, argila, e areia necessitando de uma realização de filtração e decantação para retirada dessas impurezas.

O caldo de cana é considerado um ótimo meio de cultivo de microrganismo, por conter alta quantidade de água, pH que varia de 5,0 a 5,5. Os principais organismos presentes são de origem do solo e vegetais. (OLIVEIRA, 2006).

O tratamento físico do caldo é de grande importância para o setor, fazendo com que tenha influência direta para obter um produto de qualidade e características físico-química dentro dos padrões estabelecidos. Podemos afirmar que estas contaminações surgem no processo devido à falta de cuidado e higiene, colaborando para o desenvolvimento de bolores e microrganismo que irão posteriormente degradar o caldo e resultar em um produto de características sensoriais que não atenda os consumidores.

3.3.5 Diluição do caldo

Segundo Gonçalves (2015) se faz necessário a realização da diluição para adequar ao Brix ideal de fermentação que se estabelece entre 15° a 16 ° Brix , através da adição de água potável ao caldo. Gonçalves ressalta que elevada concentração de açúcares no mosto resulta em uma fermentação lenta e elevados teores alcoólicos , interferindo diretamente no fermento com a redução do metabolismo das leveduras.

3.3.6 Fermentação alcoólica

Fermentação é definida bioquimicamente, como um processo de transformação de compostos orgânicos complexos em meio facultativo de oxigênio em substâncias simples formando álcoois e ácidos orgânico. (BASTOS, 2010).

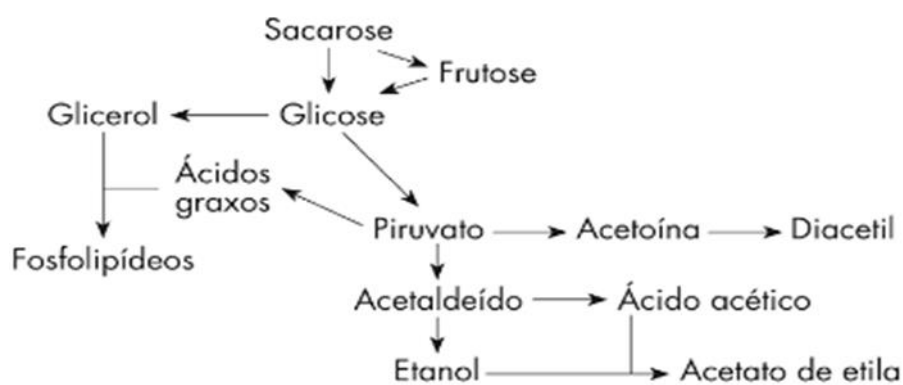
Segundo Silva (2016) para iniciar a fermentação são necessários microrganismo que consigam transformar esses açúcares em álcool, podendo ser obtidos naturalmente, denominado de fermento caipira, que vem com a cana presente no colmo e bainha da planta. Outro tipo de fermento é misto realizado uma combinação do fermento de panificação com caipira. Um dos mais utilizados é o fermento selecionado amplamente utilizado e difundido pelos principais produtores de cachaça, ele é o mais indicado para processo por estabelecer maiores rendimentos e qualidade a bebida em relação aos outros.

As leveduras são responsáveis pela obtenção do álcool, muitas vezes esse processo é conduzido com leveduras selvagens, ocasionando oscilação na bebida por falta de padronização. (GONÇALVES, 2015).

O metabolismo das leveduras é responsável por produzir compostos secundários, dando a bebida aroma e sabor, em quantidades menores são fatores que agregam valor ao produto. (PEREIRA, 2015). A seleção de leveduras é uns dos principais fatores que afeta a produção de cachaça. Esses microrganismos são responsáveis por fornecer ao produto características sensoriais únicos e exclusivos

Na Figura 4 observa-se os compostos formados através das reações de oxidação das leveduras no mosto.

Figura 4 - Reações que ocorrem no processo de fabricação da cachaça que influem no sabor e odor do produto



Fonte: Alcarde (2014)

Para a fermentação iniciar de forma homogênea e correta, é preciso ter nas dornas de fermentação uma certa quantidade de inóculo denominado de pé-de-cuba. É adicionado previamente nas dornas de fermentação cerca de 20 a 30 % de

fermento ao volume total do mosto a ser fermentado. Com as leveduras previamente na dorna, é adicionado o caldo de cana diluído e ajustado para uma faixa de 14 a 16 ° brix. Recomenda-se que essas transferências do caldo a dorna sejam feitas de forma lenta por um certo período de tempo que varia de 6 a 8 horas, diminuindo assim o estresse nas leveduras e reduzindo a produção de compostos não desejáveis.

A fermentação leva em torno de 24 h para consumir todos os açúcares que estão presentes no caldo no momento da fermentação. Ressaltando que esse tempo pode variar de acordo com a elaboração da fermentação e cuidados tomados em relação a temperatura, pH, concentração do pé de cuba e concentrações de açúcares. As principais indicações que a fermentação está no final são: diminuição de gás carbônico, redução gradativa da temperatura e diminuição do percentual dos teores de açúcar chegando a zero (CECATO-ANTONINI, 2010).

O mosto após ser fermentado é denominado de vinho. Nesta etapa é realizada a decantação das leveduras que se depositam no fundo das dornas. O vinho sem leveduras é enviado para as panelas do alambique e o fermento é regenerado. Esse processo é denominado de batelada onde se repete a cada ciclo dando continuidade no processo (SILVA, 2016).

Segundo Filho et al, (2013) outras características para perceber a viabilidade do pé de cuba é o acompanhamento da fermentação que se faz através do número de células viáveis, que pode variar de 10^6 a 10^7 por mililitro no início da fermentação e 10^8 mililitro no fim da fermentação. Com esse acompanhamento podemos perceber a viabilidade da fermentação e antecipar possíveis problemas de contaminação no mosto.

3.3.7 Fatores que inibem a fermentação alcoólica

São vários os agentes de inibição da fermentação alcoólica associados a proliferação de bactérias e condições do meio que facilita a multiplicação desses microrganismos. Com a elevação dessa microbiota eles concorrem diretamente pelos nutrientes presentes no mosto que serviria de alimentação para as leveduras. Podemos destacar que no processo fermentativo há o surgimento de várias bactérias são elas *Lactobacillus*, *Bacillus* e *Leuconostoc*. (CECATO-ANTONINI, 2010). Dentre os principais fatores que podem contribuir para inibir a fermentação

temos: concentrações elevadas de substrato, nutrientes, pH, temperaturas entre outros. (SIQUEIRA 1997).

3.3.7.1 Temperatura

De acordo com Ferreira (2002) a temperatura está intrinsicamente ligada ao processo de fermentação alcoólica, no qual temperaturas elevadas fazem com que cause uma desnaturação, provocando uma diminuição nas suas reações catabólicas . As leveduras têm uma faixa de temperatura ótima que varia de 25 °C a 35 °C para se desenvolverem, temperaturas acima dessas inibe o seu metabolismo e facilita a contaminação do mosto devido ao aumento do tempo de fermentação.

3.3.7.2 pH

O mosto extraído nas moendas tem uma faixa de pH entre 4,5 a 5,5. Isso faz com que não necessite de realizar o ajuste. As leveduras conseguem se adaptar em uma faixa de pH que varia de 4,5 a 5,0, percebemos que na fermentação uns dos maiores problemas é devido a acidificação do mosto causando a contaminação por bactérias acéticas, fazendo com que o metabolismo das leveduras seja afetado de maneira negativa diminuindo sua reprodução. Grande parte das bactérias se desenvolvem em faixa de pH que varia entre 6,5 a 7,0 enquanto em meios ácidos em torno de 4,0 não se desenvolvem. (ANTONINI, 2010).

3.3.7.3 Glicerol

O Glicerol é um subproduto formado nas fermentações alcoólicas, o qual as leveduras produzem em consequência aos estresse osmóticos sofridos por altas concentrações de açúcares presentes no mosto (AMARAL, 2009).

De acordo com Gutierrez, (1991) a formação de Glicerol em dorna de fermentação faz com que aumente os níveis de sacarose. Isso ocorre devido as enzimas Glicólicas e redução das atividades das leveduras.

3.3.7.4 Concentração de substrato

Segundo Steinle (2013), altas concentrações de açúcares acarretam na diminuição da reação de catalise das leveduras, fazendo com que ocorra perdas significativas nos processos. Quando percebido pelas leveduras, a grande quantidade de açúcar presente, é gerado um estresse que faz com que ocorra um desequilíbrio osmótico.

3.3.7.5 Destilação do vinho

A destilação acontece após a fermentação alcoólica. O principal objetivo é a separação do álcool e água através do ponto de ebulição de 100 °C para água e 78,4 °C para álcool, podendo variar com o grau alcoólico da solução.(LOPES et al, 2011). Na destilação da cachaça deve-se verificar sempre as temperaturas de vaporização e condensação. Esses parâmetros são essenciais para que se tenha um produto de qualidade e dentro dos padrões regulamentados. O aquecimento faz com que ocorra a vaporização do líquido e formação de vapores que serão condensados surgindo novos componentes, decorrentes do processo de destilação influenciado pela matéria prima do alambique. (SOUZA, 2013).

Normalmente a produção de cachaça é feita em alambiques de cobre largamente utilizado devido conseguirem retirar componentes indesejáveis da bebida, mas sua produção pode ser feita em alambiques de inox complementado com cobre normalmente realizada para processos industriais. A destilação pode ser realizada de forma descontinua pelo processo de separação das frações em alambiques de cobre e continua realizado em colunas de aço inox com grande volume de produção. (GARCIA, 2016). A destilação deve ser realizada de forma que o produto, preserve o aroma e o sabor dos principais componentes contidos na matéria prima formados através de reações químicas no interior dos alambiques no processo de destilação.(BRASIL, 2005).

A produção de cachaça em alambique de cobre não é por acaso, esse material faz com que ocorra uma maior facilidade na troca térmica, e consiga agregar sabores e odores por meio da destilação que em materiais diferentes não obteriam essas características sensoriais. **A escolha do cobre como matéria**

prima para fabricação do alambique é por ser um ótimo condutor térmico diminui o tempo de destilação da bebida. reage também quimicamente com a cachaça e auxilia na remoção de algumas substâncias indesejáveis no processo. (CHAPIUSKI, 2017).

A cachaça produzida em grandes partes dos engenhos , ainda tem uma produção muita arcaica, de modo que alguns produtores ainda sigam modelos de décadas atrás. Muitas vezes o processo de produção é afetado por falta de conhecimentos. Chama a atenção a contaminação da bebida por cobre decorrente da destilação. Muitas vezes esse excesso de cobre pode ser reduzido com a limpeza do alambique, bastando simplesmente a destilação do equipamento com água ou com água e limão. Isso faz com que os vapores arrastem o azinhavre das paredes do alambique (LIMA, 2006).

Segundo Nascimento (1998) uns dos principais desafios para a produção de cachaça de qualidade são decorrentes de contaminações provenientes de reações químicas e formação de novos compostos. Vários estudos estão sendo feitos para se obter novas tecnologias para tentar aprimorar ainda mais esse processo. A eliminação de íons de cobre é uns dos principais objetivos. Buscando por materiais que não colaborem com essas contaminações, passou a ser utilizado o aço inox na destilação da bebida, mas com o tempo foi observado que características sensoriais eram perdidas e odores de sulfetos eram percebidos, com isso foi adicionado cobre ao alambique para reduzir essas contaminações.

Na produção de cachaça de forma descontinua é realizado separações de frações, no qual são separados compostos de acordo com seu grau de evaporação facilitando sua quantificação. Na destilação por batelada pode ser retirada três frações denominadas de cabeça, coração e cauda. (VILELA, 2005).

A separação das frações da bebida é iniciada pela **CABEÇA**. Muitas vezes são confundidas, por algumas pessoas como sendo uma cachaça de boa qualidade, mas o que esses consumidores levam em consideração é sua graduação alcoólica chegando a teores alcoólicos altos entre 65 a 70 % e terem em suas composições, vários componentes. O volume desse álcool corresponde ao recolhimento de cerca de 1,0 a 2,0 % do volume total do vinho a ser destilado. (SOUZA, 2013).

Logo após a retirada da cabeça, inicia-se a fração **coração** que é considerada a parte nobre da cachaça, amplamente apreciada devido aos seus

sabores e odores característicos. Sua separação é iniciada quando sua graduação fica estabelecida em 60% e retira-se até 38 %, que corresponde cerca de 80 % do volume total destilado. É a parte destinada ao consumo e representa cerca de 80 % do volume total do destilado. (OLIVEIRA, et al 2015).

Cauda é a parte final da destilação onde é esgotada praticamente toda graduação alcoólica, nessa etapa deve ser observado o ponto correto de separação entre coração e cauda devido a sua turvação. Normalmente são retirados cerca de 1,0% do volume do vinho colocado no alambique. As frações provenientes da cabeça e cauda são descartadas por apresentarem componentes não desejáveis. (OLIVEIRA, 2010).

A destilação é uns dos gargalos que se deve ter toda atenção para fabricação da bebida, através dela podemos separar compostos irrelevantes e ao mesmo tempo separar frações que podem agregar valor à bebida através de reações químicas dos componentes de volatilidade. Para que se obtenha uma bebida de boa qualidade é necessário realizar otimizações do processo, fazendo com que a destilação selecione e concentre os vinhos do caldo de cana. (SOUZA, 2009).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido nos laboratórios de Tecnologias Sucroalcooleira e Operações Unitárias, situado no Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional (CTDR), no qual faz parte da Universidade Federal da Paraíba.

Foram reproduzidas as etapas de operações unitárias, que são empregadas no processo de produção da cachaça, deste a etapa de extração do caldo até a destilação. No decorrer das etapas foram realizadas análises, pH, teor alcoólico, monitoramento da temperatura das dornas e verificado o índice de sólidos solúveis (Brix), que são fatores fundamentais para produção de uma cachaça de boa qualidade.

4.1 Cana-de-açúcar

A matéria prima foi obtida no município de Itapororoca situada a uma distância de aproximadamente de 72 Km da capital paraibana, doada pelo aluno do curso Marcondes, que também é produtor.

O processamento da cana-de-açúcar foi realizado no laboratório de operações Unitárias, onde foi pesada e depois moída e analisada.

4.1.1 *Preparo da matéria prima para fermentação*

Foi realizado o processamento da matéria prima, seguindo rigorosamente o procedimento e as etapas que foi repassada visando diminuir interferência do meio e com isso obter resultados reais das possíveis interferências sofrida no decorrer do processo.

A matéria prima passou por um processo de limpeza, pesagem, extração do caldo e peneiramento do caldo. Limpeza foi realizada com o intuito de diminuir as impurezas que vem da lavoura decorrente do carregamento, no qual foi feito a retirada da palha. Logo após foi realizada a pesagem da matéria prima, obtendo ao todo cerca de 300 Kg de cana-de-açúcar, sendo que esta quantidade foi dividida em duas partes para realização do experimento proposto com controle de temperatura e sem realizar o controle de temperatura as dornas . Depois de pesada a matéria prima foi levada para extração onde foi obtido cerca de 150 litros de caldo e dividida

em duas partes como relatado anteriormente. O rendimento do caldo varia de acordo com o índice de extração da moenda. Foi observado que o rendimento da moenda estava em 50% da capacidade de extração. Feito isso o caldo passou por uma peneira para retirada de materiais grosseiros e bagacilhos, decorrente da extração e dos processos anteriores. Logo após extração foi realizado a medição do brix referente aos sólidos solúveis totais e pH, fatores que são preponderantes para desenvolver a fermentação alcoólica.

Na Figura 5- podemos observar as etapas desenvolvidas no laboratório para obtenção do caldo de cana.

Figura 5- Procedimento para extração do caldo



Fonte: Do autor (2019)

Finalizando as etapas anteriores, todo o caldo passou por um processo de aquecimento, onde o objetivo era certificar-se que todas as leveduras selvagens e microrganismos não iriam interferir na elaboração dos experimentos e estabelecer que todas as jarras estariam padronizadas e com as mesmas leveduras. O pé de cuba usado na elaboração das fermentações foi obtido no Engenho São Paulo, que está localizado no município de Cruz do Espírito Santo.

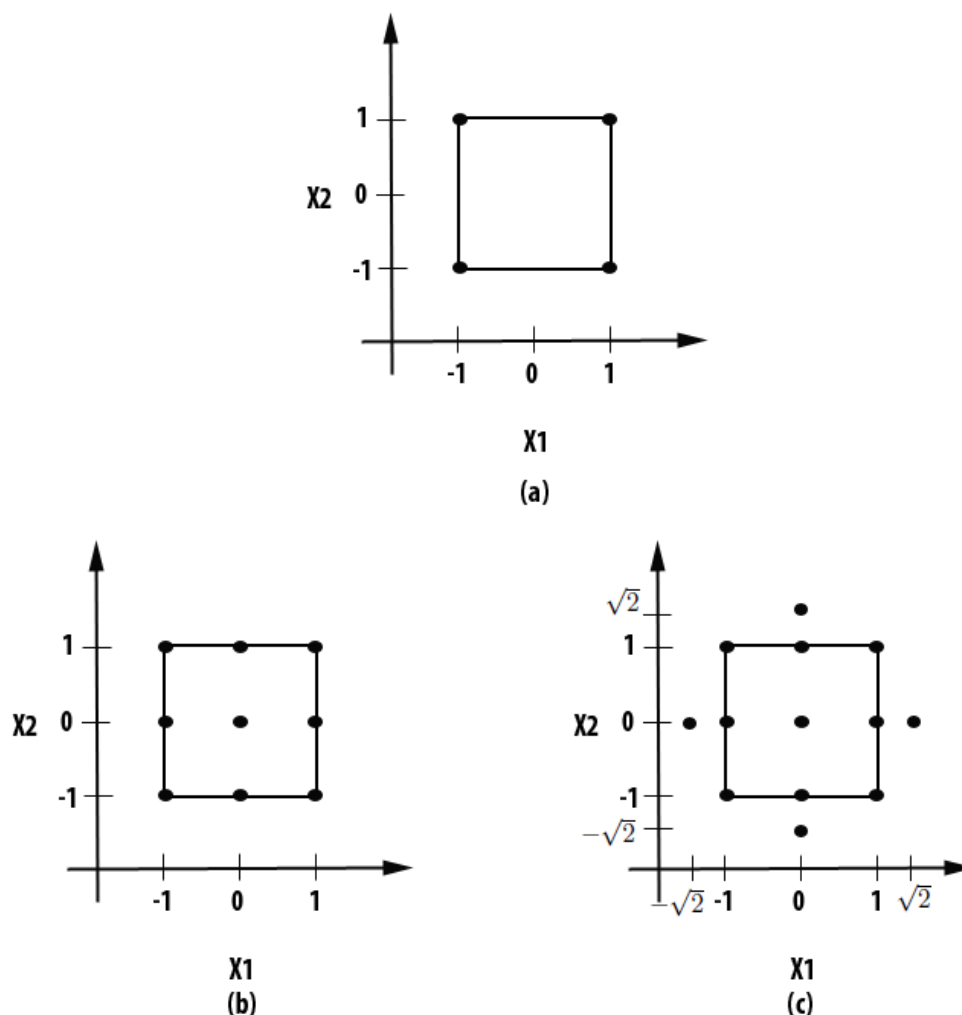
4.2 Elaboração do planejamento de experimentos para iniciar a fermentação

4.2.1 *Experimento composto central*

Os experimentos centrais são os mais populares dentre os planejamentos de experimentos de segunda ordem. Basicamente, estes experimentos são compostos de um ponto central, que será executado com réplicas e dará uma estimativa interna do erro puro e de pontos axiais, que irão determinar os termos quadráticos. Esses experimentos são de dois níveis totais ou fatoriais fracionados que foram aumentados com um pequeno número de tratamentos, cuidadosamente escolhidos, para permitir a estimativa do modelo de superfície de resposta de segunda ordem.

Na **Figura 6-** (a) temos um exemplo de experimento fatorial 2^2 , já na **Figura 6-** (b) temos um experimento composto central que obtemos somando um ponto único ao centro e quatro pontos da estrela (também chamados de pontos axiais). Um ponto de estrela é aquele em que todos os fatores são fixados em suas médias dos níveis. As coordenadas dos quatro pontos da estrela na **Figura 6-** (b) são (-1,0), (1,0), (0,-1), e (0,1). Resumindo, os quatro pontos da estrela estão localizados nos centros de cada uma das quatro arestas da região experimental.

Figura 6- (a) Experimento fatorial 2^2 , (b) Experimento composto central com $\alpha = 1$, (c) Experimento de composição central com $\alpha = \sqrt{2}$.



Fonte: PORTALACTION (2019)

A distância entre um ponto de estrela e o ponto central em unidades é α . Note que, na Figura 6(b) os pontos da estrela estão a uma distância de uma unidade à partir do centro, ou seja, $\alpha = 1$. Às vezes, é possível colocar os pontos da estrela para além da região experimental definida pelos limites superiores e inferiores originais dos fatores, como é mostrado na Figura 6 (c) em que apresentamos um experimento composto central em que os pontos da estrela estão localizados a uma distância $\alpha = \sqrt{2}$ à partir do centro. Como pode ser visto, cada fator é executado em mais de cinco níveis distintos quando α é maior do que 1, enquanto o uso de α é composto de apenas três níveis distintos para

cada fator, como mostrado na Figura 6.(b). Uma vantagem de fixar α maior do que 1, portanto, é que os testes para efeitos de curvatura cúbicos e quadráticos poderão ser conduzidos.

Agora, definimos alguns componentes importantes para os experimentos de composição central:

1. 2^{k-f} pontos de vértice: a base de qualquer experimento composto central é um experimento fatorial completo de 2 níveis ou experimento fatorial fracionado de resolução V ou maior, em que k é o número de fatores e f é o número de níveis de fração de um experimento fatorial 2^2 . Este componente é fornecido por estimação dos efeitos principais lineares e todos os efeitos de interação dois a dois. Geralmente, usamos para os pontos de vértices os níveis $(\pm 1, \dots, \pm 1)$.

2. $2k$ pontos de estrela: a combinação destes níveis do fator permite a estimativa de todos efeitos quadráticos principais. Quando temos $\alpha > 1$, podemos conduzir testes de significância para ordens grandes de efeitos de curvatura. Geralmente, usamos para os pontos de estrela os níveis $(\pm \alpha, \dots, 0)$, $(0, \pm \alpha, \dots, 0)$ etc.

3. n_0 pontos de centro: se $n_0 > 1$, uma estimação do erro puro para σ^2 pode ser avaliada e um teste de falta de ajuste é possível. As coordenadas dos pontos de centro são $(0, \dots, 0)$.

Com as definições feitas até o momento, o termo experimento composto central refere-se à família de planejamentos de experimentos de segunda ordem. Porém, podemos ter diversos delineamentos dependendo dos pontos de vértice α e nas extensões das repetições. Nesses experimentos, podemos ter repetições no ponto central, nos pontos de vértices e pontos de estrela. Assim, temos que n_c é o número de réplicas em cada ponto de vértice e n_s o número de réplicas em cada ponto da estrela. Agora, definimos o número de corridas experimentais como:

1. $2^{k-f} n_c$: número de corridas experimentais dos pontos de vértice;
2. $2 k n_s$: número de corridas experimentais dos pontos da estrela;
3. $n_T = 2^{k-f} n_c + 2 k n_s + n_0$: número de corridas do experimento.

Na Tabela 3- temos alguns experimentos de composição central usuais.

Tabela 3- Experimentos de composição central usuais.

Número de fatores	2	3	4	5	6	7	8
Experimento fatorial (base)	2^2	2^3	2^4	2_V^{5-1}	2_V^{6-1}	2_V^{7-1}	2_V^{8-2}
Pontos de estrela	4	6	8	10	12	14	16
Pontos de centro	1	1	1	1	1	1	1
α ($n_c = n_s = 1$)	1,414214	1,6818	2	2	2,3784	2,8284	3,3636
Total de corridas ($n_c = n_s = 1, n_0 = 4$)	12	18	28	30	48	82	84

Fonte: PORTALACTION (2019)

Agora, mostramos algumas diretrizes para a construção de um experimento de composição central: (PORTALACTION, 2019)

- Determinar o número de réplicas do ponto central;
- Determinar os pontos axiais do modelo; e
- Construção da matriz de planejamento

4.2.2 Superfície de resposta

4.2.3 Introdução a modelos de superfície de resposta

As técnicas de superfície de resposta são ferramentas matemáticas muito úteis quando estamos interessados na otimização de um processo em que temos a influência de vários fatores em uma variável resposta, ou seja, os modelos de superfície de resposta podem ser explorados para determinar **condições ótimas** para se trabalhar ou a **sensibilidade da variável resposta** a mudanças dos níveis dos fatores de interesse.

Basicamente, as diretrizes para se trabalhar com um modelo de superfície de resposta são:

- Amostragem;
 - Modelagem;
 - Otimização.
1. **Amostragem:** definimos o número de ensaios que vamos executar, já pensando nos modelos que iremos implementar.
 2. **Modelagem e Testes de Hipóteses:** ajustamos os modelos e analisamos os ajustes obtidos.
 3. **Otimização:** obtemos a configuração ótima dos níveis dos fatores de interesse, entre os intervalos considerados, e verificamos a necessidade de realizar novamente o experimento considerando novos níveis para os fatores.

Podemos dividir os modelos de Planejamento de Experimentos, em geral, em dois tipos:

$$\text{Amostragem:} \left\{ \begin{array}{l} \bullet \text{Modelos de Ordem 1} \left\{ \begin{array}{l} \bullet \text{Fatoriais} \\ \bullet \text{Fatoriais Fracionados} \\ \bullet \text{Blocos} \end{array} \right. \\ \bullet \text{Modelos de Ordem 2} \left\{ \begin{array}{l} \bullet \text{Delineamento Composto Central} (*) \\ \bullet \text{Delineamentos de Box-Behnken} (*) \\ \bullet \text{Delineamentos Ótimos} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

Neste capítulo iremos considerar os modelos marcados com (*), que são os modelos de superfície de resposta. Para a modelagem/análise dos modelos de superfície de resposta podem ser utilizadas as seguintes técnicas:

Modelagem/Testes de Hipóteses: {

- Modelos de Regressão
- Estimação dos Parâmetros (MQ)
- Técnicas de Inferência Estatística
- ANOVA
- Falta de Ajuste

E para a otimização do modelo ajustado podem ser utilizadas as técnicas:

Otimização: {

- Cálculo de Máximo ou Mínimo de funções
- Curvas de Nível
- Visualização Gráfica
- Métodos Numéricos
- *Steepest Ascent* ou *Descent*
- Simulação de Monte Carlo

Para a fase de otimização, é importante ressaltar que a visualização gráfica da superfície de resposta é possível quando temos até 2 fatores. Para um problema com mais fatores essa visualização não é mais possível e é necessário utilizar técnicas numéricas. As técnicas de *Steepest Ascent* e *Descent* são utilizadas quando ainda não foi atingida a configuração ótima dentro dos intervalos considerados e é necessário extrapolar para outros níveis na direção mais interessante. As técnicas de simulações são utilizadas para verificar um possível comportamento quando considerarmos situações que não foram observadas. É importante ressaltar que ao considerar modelos quadráticos é **essencial** a inclusão de **réplicas** no experimento, devido à necessidade de detectar o grau de **curvatura** do modelo. Portanto, sempre que possível inclua réplicas no experimento.

A ideia básica das técnicas de superfície de resposta é considerar que existe uma relação entre as variáveis x_1, \dots, x_k e y , conforme a Equação 1:

$$y = f(x_1, \dots, x_k, \beta) \quad (1)$$

que é desconhecida, mas que podemos aproximar esta função por uma relação **polinomial**, por exemplo, do tipo ,mostrada na equação 2 :

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \beta_{11} x_1^2 + \dots + \beta_{kk} x_k^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \dots + \beta_{(k-1)k} x_{k-1} x_k + \varepsilon. \quad (1.5.1) \quad (2)$$

Assim chamaremos de superfície de resposta a curva dada pela relação da equação 3 :

$$E(y) = f(x_1, \dots, x_k, \beta) \quad (3)$$

A expressão (5.1) é denominada **modelo de segunda ordem de superfície de resposta** (os termos têm, no máximo, ordem 2). O termo ε é o erro aleatório envolvido no modelo, e tem suposições de distribuição de acordo com cada problema. Os β 's são os coeficientes do modelo de regressão. Esse modelo é interessante e muito útil para descrever dados experimentais nos quais a curvatura é abundante. Mas isto não implica que em todos os sistemas contendo curvatura este modelo tem bom ajuste. Existem vários casos em que é necessário um modelo mais complexo, e em alguns casos raros pode até ser necessário utilizar termos cúbicos, para alcançar um ajuste adequado. Em outros casos a curvatura pode ser facilmente manuseada utilizando uma transformação logaritmo na resposta, por exemplo, com $k = 2$, observada na equação 4:

$$\ln y = \beta_0 + \beta_{1.x1} + \beta_{2.x2} + \beta_{12.x1.x2}. \quad (4)$$

Para as superfícies de resposta que forem fixados alguns valores de interesse para a variável resposta Y obtemos, no plano, curvas denominadas **curvas de nível** ou **curvas de contorno**. (PORTALACTION, 2019)

4.2.4 Planejamento fatorial 2^2 com ponto central

O Planejamento Fatorial 2^2 com ponto central, utilizado neste trabalho é mostrado na Tabela 4

Tabela 4 - Planejamento Fatorial 2^2 com ponto central.

NÍVEIS (2^2)	FATORES (2^2)	
	BRIX	PH
+1	17	6
0	15	4
-1	13	2

Fonte: Do autor (2019)

Com extração do caldo de cana iniciou o processo de desenvolvimento do experimento. Foram realizados ao todo vinte fermentações dadas em duas partes, com controle de temperaturas e sem a realização do controle das temperaturas, todos os experimentos realizados tiveram as mesmas variáveis e correções. Com elaboração do experimento foi gerado variáveis, com o objetivo de criar uma superfície de resposta, modificando o Brix e pH e observar o melhor meio de desenvolvimento da Fermentação alcoólica para produção de cachaça. Na Tabela 5 – Podemos verificar o estudo proposto, para elaboração da superfície de resposta.

Tabela 5 - Experimentos realizado com controle de temperatura e sem o controle de temperatura.

EXPERIMENTOS	CONCENTRAÇÃO DO BRIX	CONCENTRAÇÃO DO PH
1	13,00	2,00
2	13,00	6,00
3	17,00	2,00
4	17,00	6,00
5	12,17	4,00
6	17,82	4,00
7	15,00	1,17
8	15,00	6,82
9	15,00	4,00
10	15,00	4,00

Fonte: Do autor (2019)

Na realização da análise do caldo de cana através de um pHmetro e um refratômetro foi verificado que sua concentração de sólidos solúveis inicial Brix era de 22,1 e seu pH ficava estabelecido em torno de 5,25. Desta forma o caldo de cana passou por ajuste das variáveis de acordo com cada experimento . Quando o objetivo era acidificar o caldo foi utilizado de uma solução de ácido sulfúrico H_2SO_4 1:1 e quando era necessária uma solução mais alcalina era adicionado hidróxido de sódio NaOH. 10N Todos os experimentos foram utilizados os mesmos volumes de caldo equivalente 7 litros do volume total para ser destilado, incluído o pé de cuba que foi adicionado 30 % do volume do caldo nas jarras. Na adição do caldo nas dornas tomou o cuidado de encher lentamente, com o intuito de diminuir o máximo possível o estresse causado nas leveduras e tentar manter o padrão em todas as dornas.

Na Figura 7 - observamos a elaboração dos experimentos e os mecanismos empregados para realizar o preenchimento do caldo nas dornas de fermentações.

Figura 7- Mecanismo para transferir o caldo para as dornas



Fonte: Do autor (2019)

O caldo foi posto em dornas de vidro, cujo volume total corresponde a 8 litros sendo que foi utilizado 7 litros de caldo incluído o pé de cuba, todas as jarras foram adaptadas para receber o caldo de cana juntamente com o pé cuba, na realização da fermentação controlada as jarras foram equipadas com sistemas de aquecimento e sensores de temperatura para manter as temperaturas constante no interior das dornas, da mesma forma as jarras contavam com ventiladores que serviam para dissipar o calor em sua volta e assim favorecer o resfriamento das fermentações quando necessária.

Na Figura 8 - observamos o processo de fermentação com controle de temperatura em condições ideais e respectivamente os equipamentos acoplados as jarras para manutenção da temperatura e resfriamento.

Figura 8- Dornas com sensores de temperatura (a), Dornas em funcionamento(b).

(a)



(b)



Fonte: Do autor (2019)

4.3 Destilação do vinho fermentado

A destilação ocorreu em um mine alambique com capacidade para destilar 8 litros de vinho fermentado, o destilador tinha seu material composto por aço inox na panela do alambique e cobre na sua serpentina. As destilações foram feitas assim que eram verificado o brix do vinho e espelhamento das dornas que é uns dos indicares que a fermentação chegou ao fim. No aquecimento dos alambique foi utilizado fogão elétrico onde era monitorada frequentemente as temperaturas para evitar que as temperaturas ficassem muito elevadas evitando assim uma destilação rápida e conseqüentemente o arraste de água junto com o álcool. A destilação iniciou quando a temperatura dentro da panela do alambique chegou em torno de 82 °C, nesta temperatura iniciou o gotejamento dentro da proveta e na medida que o álcool era separado a temperatura dentro da panela do alambique aumentava gradativamente . Foram separados na destilação cabeça, coração e cauda e posteriormente organizadas para serem efetivadas as análises das amostras.

Na Figura 9- podemos verificar o processo de destilação da cachaça realizado através das separações das frações composta por uma solução binária de álcool e água. Na medida que o álcool vai evaporando o vapor vai passando por serpentina de cobre onde é conseqüentemente condensado.

Figura 9- Alambique utilizado para produção da cachaça



Fonte: Do autor (2019)

4.4 Análises físico químicas da cachaça

Nesse trabalho só foi possível realizar as destilações com o vinho fermentando mantido em temperaturas constante, devido não possuímos o destilador no início da elaboração do estudo, não sendo possível comparar a cachaça produzida com controle de temperatura e sem a realização do controle.

As análises físicas químicas da cachaça foram realizadas no Laboratório de Tecnologia em produção Sucrialcooleira.

Foram feitas análises de pH, densidade, Grau alcoólico e acidez total.

Na Figura 10 – podemos observar alguns dos principais equipamentos utilizados para determinar a qualidade da cachaça e com isso quantificar o produto.

Figura 10- Densímetro digital, utilizado para verificar o °GL e as densidades das amostras(a), titulação das amostras das cachaças(b),Ebuliômetro (c).

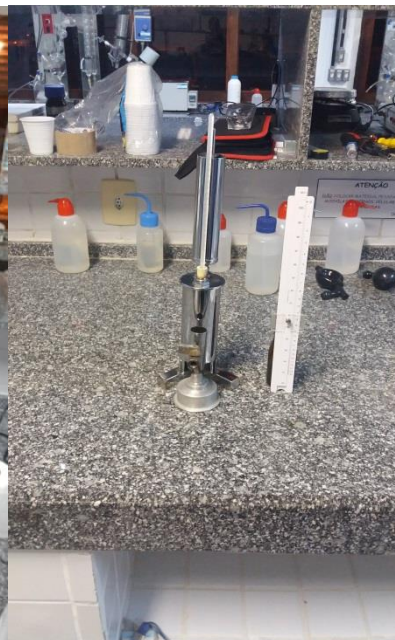
(a)



(b)



(b)



Fonte: Do autor (2019)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este item vai demonstrar os resultados obtidos decorrentes da elaboração de 20 experimentos nos quais foram divididos em duas partes com acompanhamentos de temperatura e sem realizar este controle, modificando o Brix e pH.

5.1 pH, brix e temperatura

Os experimentos demonstraram que o desenvolvimento da fermentação alcoólica estão ligados diretamente há fatores intrínsecos e extrínsecos do meio, no qual variações de substrato, ph e temperaturas interferem diretamente na realização da fermentação.

Na tabela 6 estão dispostos os parâmetros físico-químicos acompanhados durante as realizações dos experimentos .

Tabela 6 - Estão descritos os parâmetros obtidos durante acompanhamentos das fermentações com e sem controle de temperaturas

	Com controle de Temperatura (°C)				Sem controle de temperatura (°C)			
Exp.	Tempo Dias	Brix °Bx	PH --	Teor alc °GL	Tempo Dias	Brix °Bx	pH --	Teor alc °GL
1 Brix=13,00 pH= 2,00	1° Dia	13,60	2,20	0,80	1° Dia	6,50	3,13	5,60
	2° Dia	12,90	2,14	2,00				
	3° Dia	11,50	2,16	3,00				
	4° Dia	10,70	2,13	3,30				
	5° Dia	7,50	2,23	5,40				
	Com controle de Temperatura ¹ (°C)				Sem controle de temperatura (°C)			
Exp.	Tempo Dias	Brix °Bx	PH --	Teor alc °GL	Tempo Dias	Brix °Bx	PH --	Teor alc °GL
2 Brix=13,00 pH= 6,00	1° Dia	13,50	5,03	0,70	1° Dia	6,20	3,30	5,40
	2° Dia	13,02	4,91	1,40				
	3° Dia	12,10	4,64	1,70				
	4° Dia	11,20	4,30	2,70				
	5° Dia	8,00	3,83	4,50				

¹ Temperatura da fermentação mantida em 32°C.

Exp.	Tempo Dias	Brix °Bx	pH --	Teor alc °GL	Tempo Dias	Brix °Bx	pH --	Teor alc °GL
3 Brix=17,00 pH= 2,00	1° Dia	17,10	2,21	0,10	1° Dia	9,30	2,42	4,50
	2° Dia	16,10	2,21	1,20	2° Dia	8,50	2,40	6,00
	3° Dia	14,20	2,21	3,00				
	4° Dia	13,50	2,22	4,30				
	5° Dia	10,30	2,05	6,70				
	Com controle de Temperatura (°C)				Sem controle de temperatura (°C)			
Exp.	Tempo Dias	Brix °Bx	pH --	Teor alc °GL	Tempo Dias	Brix °Bx	pH --	Teor alc °GL
4 Brix=17,00 pH= 6,00	1° Dia	13,10	3,35	3,10	1° Dia	9,00	3,02	5,50
	2° Dia	8,70	3,31	6,00	2° Dia	8,70	2,96	5,50
	3° Dia	8,20	3,34	6,50				
	4° Dia	8,00	3,32	6,50				
	5° Dia	7,70	3,32	5,10				
	Com controle de Temperatura (°C)				Sem controle de temperatura (°C)			
Exp.	Tempo Dias	Brix °Bx	pH --	Teor alc °GL	Tempo Dias	Brix °Bx	pH --	Teor alc °GL
5 Brix=12,17 pH= 4,00	1° Dia	12,50	3,63	0,90	1° Dia	5,10	3,07	5,40
	2° Dia	12,20	3,85	0,50	2° Dia	4,10	3,05	5,90
	3° Dia	11,20	3,47	1,00				
	4° Dia	10,60	3,62	4,00				
	5° Dia	8,00	3,83	4,50				
	Com controle de Temperatura ²(°C)				Sem controle de temperatura (°C)			
Exp.	Tempo Dias	Brix °Bx	pH --	Teor alc °GL	Tempo Dias	Brix °Bx	pH --	Teor alc °GL
6 Brix=17,82 pH= 4,00	1° Dia	18,50	3,96	1,10	1° Dia	6,50	2,94	6,10
	2° Dia	17,01	3,60	2,50	2° Dia	6,80	3,00	6,90
	3° Dia	16,30	3,72	5,50				
	4° Dia	16,00	3,60	3,40				
	5° Dia	7,50	2,23	5,40				

² Temperatura da fermentação mantida em 32°C.

	Com controle de Temperatura (°C)				Sem controle de temperatura (°C)			
Exp.	Tempo Dias	Brix °Bx	pH --	Teor alc °GL	Tempo Dias	Brix °Bx	pH --	Teor alc °GL
7 Brix=15,00 pH= 1,17	1° Dia	14,70	0,92	3,50	1° Dia	11,20	1,45	3,50
	2° Dia	15,10	0,99	3,50				
	3° Dia	14,90	0,93	3,00				
	4° Dia	14,40	0,74	2,90				
	5° Dia	14,30	0,90	1,80				
	Com controle de Temperatura (°C)				Sem controle de temperatura (°C)			
Exp.	Tempo Dias	Brix °Bx	pH --	Teor alc °GL	Tempo Dias	Brix °Bx	pH --	Teor alc °GL
8 Brix=15,00 pH= 6,82	1° Dia	12,10	4,47	4,70	1° Dia	4,20	3,38	7,20
	2° Dia	11,50	4,21	7,70				
	3° Dia	10,50	4,11	7,50				
	4° Dia	10,30	3,83	7,60				
	5° Dia	9,90	3,70	6,00				
	Com controle de Temperatura (°C)				Sem controle de temperatura (°C)			
Exp.	Tempo Dias	Brix °Bx	pH --	Teor alc °GL	Tempo Dias	Brix °Bx	pH --	Teor alc °GL
9 Brix=15,00 pH= 4,00	1° Dia	7,60	3,46	8,30	1° Dia	5,20	2,99	6,50
	2° Dia	8,00	3,31	9,10				
	3° Dia	7,90	3,42	8,70				
	4° Dia	8,00	3,47	8,50				
	5° Dia	7,30	3,31	8,10				
	Com controle de Temperatura (°C)				Sem controle de temperatura (°C)			
Exp.	Tempo Dias	Brix °Bx	pH --	Teor alc °GL	Tempo Dias	Brix °Bx	pH --	Teor alc °GL
10 Brix=15,00 pH= 4,00	1° Dia	5,60	2,99	6,90	1° Dia	7,80	3,02	5,70
	2° Dia	5,00	2,97	8,40				
	3° Dia	4,80	2,97	7,70				
	4° Dia	4,40	2,95	8,00				
	5° Dia	3,90	2,90	6,90				

Fonte: Do autor (2019)³

³ Temperatura da fermentação mantida em 32°C.

Fica evidente que no processo de fermentação alcoólica o controle de temperatura é essencial para que as leveduras possam desenvolver o seu metabolismo. Podemos perceber que na fermentação sem o controle de temperatura ocorreu uma grande variação de tempo, em relação aos experimentos que foram realizados com controles de temperaturas levando apenas um período de 24 h para observar elevação significativa do grau alcoólico e redução da concentração dos sólidos solúveis presentes no mosto.

A temperatura fixada em 32 °C, favoreceu o desenvolvimento celular das leveduras presentes no interior das dornas, ocorrendo uma maior multiplicação do fermento e conseqüentemente uma conversão dos açúcares em álcool e gás carbônico que são excretado pelas leveduras no momento da fermentação. Na realização dos experimentos sem realizar o controle de temperatura, ocorreu um longo período de fermentação, isso demonstra que em condições de temperaturas não controladas ocorrem um período de inércia decorrente da diminuição do metabolismo das leveduras. Outro fato que chama atenção na realização da fermentação alcóolica é as altas taxas de concentrações de sólidos solúveis na fermentação. Isso faz com que as leveduras tenham um estresse osmótico, ocasionando fermentação lentas e com teores alcoólicos elevados, quando percebido essas taxas as leveduras tendem a criar mecanismo de defesas e produzem substâncias no meio fermentativo umas dessas é o glicerol decorrentes das elevadas concentrações de brix.

O pH extremamente ácido inibiu crescimento celular das leveduras drasticamente e conseqüentemente ocorreu contaminações das dornas, facilmente percebida com acidez elevadas. Portanto no desenrolar dos experimentos foram observados que controle de temperaturas, teores alcoólicos nas dornas e elevadas concentrações de açúcares no mosto são fatores que podem implicar negativamente na qualidade do produto.

Na Tabela 7 – são apresentados os parâmetros obtidos decorrente da destilação da cachaça com controle de temperatura.

Tabela 7 - Parâmetros obtidos das análises físico-químicas das amostras das cachaças com controle de temperatura.

	Frações	Acidez (mg/100 ml)	Densidade (g/m ³)	pH	Teor alcoólico GI°
Exp. 1 Brix=13,00 pH= 2,00	Cabeça	155,20	0,90	4,50	41,40
	Coração	179,10	1,00	4,10	36,10
	Cauda	185,10	1,00	3,90	31,90
	Frações	Acidez (mg/100 ml)	Densidade (g/m ³)	pH	Teor alcoólico GI°
Exp. 2 Brix=13,00 pH= 6,00	Cabeça	238,8	0,936	4,04	44,6
	Coração	256,7	0,948	3,91	38,0
	Cauda	185,1	0,956	3,69	32,7
	Frações	Acidez (mg/100 ml)	Densidade (g/m ³)	pH	Teor alcoólico GI°
Exp. 3 Brix=17,00 pH= 2,00	Cabeça	334,30	0,920	2,93	50,00
	Coração	262,70	0,940	3,00	42,50
	Cauda	214,90	0,960	3,00	37,00
	Frações	Acidez (mg/100 ml)	Densidade (g/m ³)	pH	Teor alcoólico GI°
Exp. 4 Brix=17,00 pH= 6,00	Cabeça	143,30	0,940	2,93	40,00
	Coração	137,30	0,940	3,57	42,50
	Cauda	185,10	0,970	3,71	21,40
	Frações	Acidez ⁴ (mg/100 ml)	Densidade (g/m ³)		Teor alcoólico GI°
Exp. 5 Brix=12,17 pH= 4,00	Cabeça	226,86	0,930	3,99	47,80
	Coração	238,80	0,940	3,78	40,70
	Cauda	238,80	0,950	3,79	38,60

⁴ legislação estabelece que o limite máximo de ácido acético 150 mg /100 ml da amostra.

	Frações	Acidez (mg/100 ml)	Densidade (g/m ³)	pH	Teor alcoólico GI°
Exp. 6 Brix=17,82 pH= 4,00	Cabeça	77,6	0,919	4,37	53,9
	Coração	71,6	0,919	3,78	54,3
	Cauda	83,6	0,926	3,34	50
	Frações	Acidez (mg/100 ml)	Densidade (g/m ³)	pH	Teor alcoólico GI°
Exp. 7 Brix=15,00 pH= 1,17	Cabeça	400,0	0,982	2,78	11,00
	Coração	274,6	0,987	3,34	6,00
	Cauda	274,6	0,991	3,46	4,00
	Frações	Acidez (mg/100 ml)	Densidade (g/m ³)	pH	Teor alcoólico GI°
Exp. 8 Brix=15,00 pH= 6,82	Cabeça	35,80	0,93	5,06	47,00
	Coração	41,80	0,94	4,99	43,20
	Cauda	41,80	0,95	4,73	39,00
	Frações	Acidez (mg/100 ml)	Densidade (g/m ³)	pH	Teor alcoólico GI°
Exp. 9 Brix=15,00 pH= 4,00	Cabeça	59,70	0,92	4,70	59,70
	Coração	53,70	0,93	4,54	50,40
	Cauda	53,70	0,95	4,40	39,00
	Frações	Acidez ⁵ (mg/100 ml)	Densidade (g/m ³)	pH	Teor alcoólico GI°
Exp. 10 Brix=15,00 pH= 4,00	Cabeça	71,60	0,93	4,04	49,60
	Coração	161,20	0,93	3,96	43,40
	Cauda	191,00	0,95	3,81	36,20

Fonte: Do autor (2019)

Na destilação do vinho fermentado, observamos de maneira mais clara o comportamento das leveduras em diferentes concentrações de brix e pH. Os resultados apresentados mostram o que indicam as literaturas, que o pH deve ter uma faixa ótima para desenvolver o fermento comprovado nos experimentos realizados na tabela 7 em que meios muito ácidos ou elevadas concentrações de açúcares diminuir radicalmente o metabolismo das leveduras e inibido o seu trabalho de conversões dos sólidos solúveis do mosto. O experimento 7, através do seu acompanhamento percebemos que teve sua acidez elevada demonstrando que os

⁵ legislação estabelece que o limite máximo de ácido acético 150 mg /100 ml da amostra.

principais fatores que contribuíram foi o pH do mosto inicial , no qual as leveduras que estavam presentes nas dornas sofreram com um estresse e conseqüentemente não conseguiram desenvolver seu metabolismo demonstrado, nos níveis da graduação alcoólica formado no mosto, e conseqüentemente esse dorna sofreu contaminações devido ao efeito inibidor do pH onde os açúcares presentes no mosto foram convertidos inibindo o crescimento celular das leveduras através da produção de ácido láctico.

5.2 Superfícies de Resposta e Curvas de contorno

5.2.1 Sem controle de temperatura

Os dados usados para gerar a superfície de resposta, em função dos fatores de brix e pH, sem o controle de temperatura, tendo como resposta o grau alcoólico °GL, são apresentados na tabela 15.

Tabela 8 - grau alcoólico G.L, obtido a partir dos fatores de brix e pH, SEM controle de temperatura.

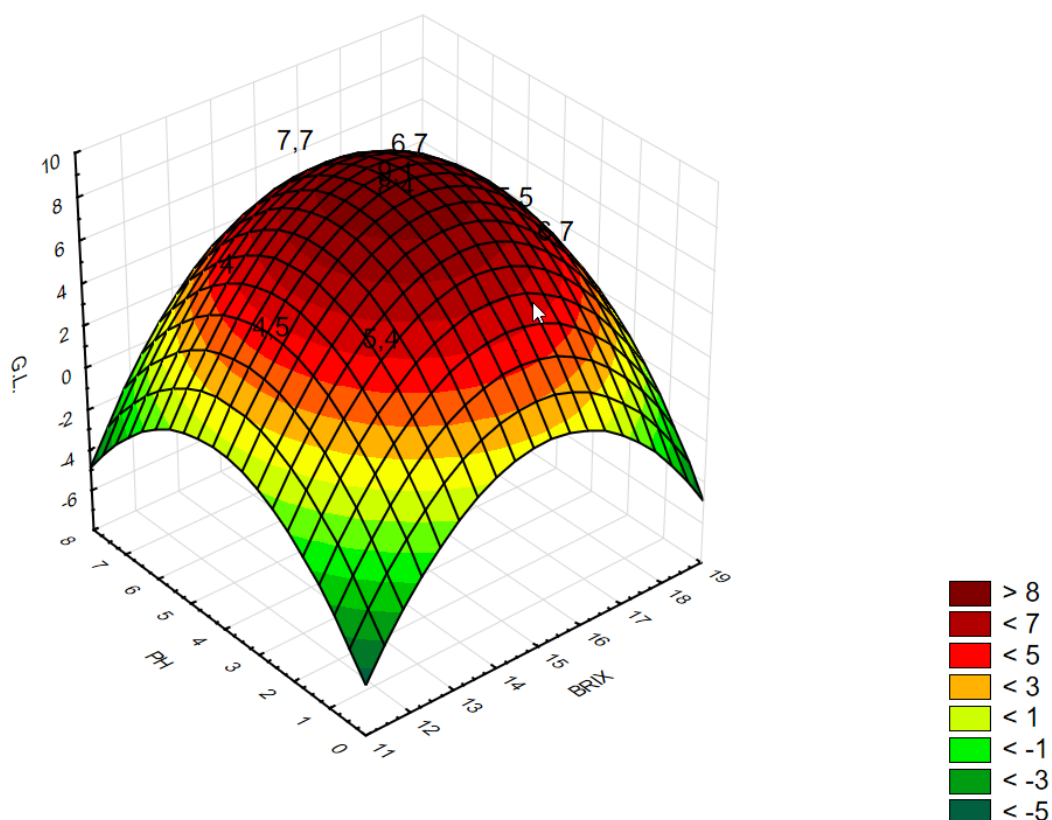
EXPERIMENTO	BRIX	PH	G. L.
1	13,00000	2,000000	5,4
2	13,00000	6,000000	4,5
3	17,00000	2,000000	6,7
4	17,00000	6,000000	6,7
5	12,17157	4,000000	4,5
6	17,82843	4,000000	5,5
7	15,00000	1,171573	3,5
8	15,00000	6,828427	7,7
9 (C)	15,00000	4,000000	9,1
10 (C)	15,00000	4,000000	8,4

Fonte: Do autor (2019)

Figura 11 observamos superfície de resposta abaixo, quando não controlamos a temperatura, comprova o que a literatura recomenda para a produção da cachaça, sendo brix em torno de 15 °Bx e pH por volta de 4 .

Figura 11--Superfície de resposta do grau alcoólico G.L, obtido a partir dos fatores de brix e pH, SEM controle de temperatura.

$$G.L. = -97,6029+13,1603*BRIX+2,3587*PH-0,4359*BRIX*BRIX+0,0562*BRIX*PH-0,3609*PH*PH$$



Fonte: Do autor (2019)

A superfície de resposta mostrada na figura 11, foi ajustada através de um polinômio de 2 grau.

A equação desse polinômio nos permite encontrar os valores de °GL para quaisquer valores de BRIX e pH, dentro dos valores utilizados destes parâmetros no planejamento ilustrada na equação 5.

$$G.L. = -97,6029+13,1603*BRIX+2,3587*PH-0,4359*BRIX*BRIX+0,0562*BRIX*PH-0,3609*PH*PH \quad (5)$$

5.2.2 Com controle de temperatura

Os dados usados para gerar a superfície de resposta, em função dos fatores de brix e pH, com o controle de temperatura, tendo como resposta o grau alcoólico °GL, são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - grau alcoólico G.L, obtido a partir dos fatores de brix e pH, COM controle de temperatura.

EXPERIMENTO	BRIX	PH	°GL
1	13,00000	2,000000	5,6
2	13,00000	6,000000	5,4
3	17,00000	2,000000	6
4	17,00000	6,000000	5,5
5	12,17157	4,000000	5,9
6	17,82843	4,000000	6,9
7	15,00000	1,171573	3,5
8	15,00000	6,828427	7,2
9 (C)	15,00000	4,000000	6,5
10 (C)	15,00000	4,000000	5,7

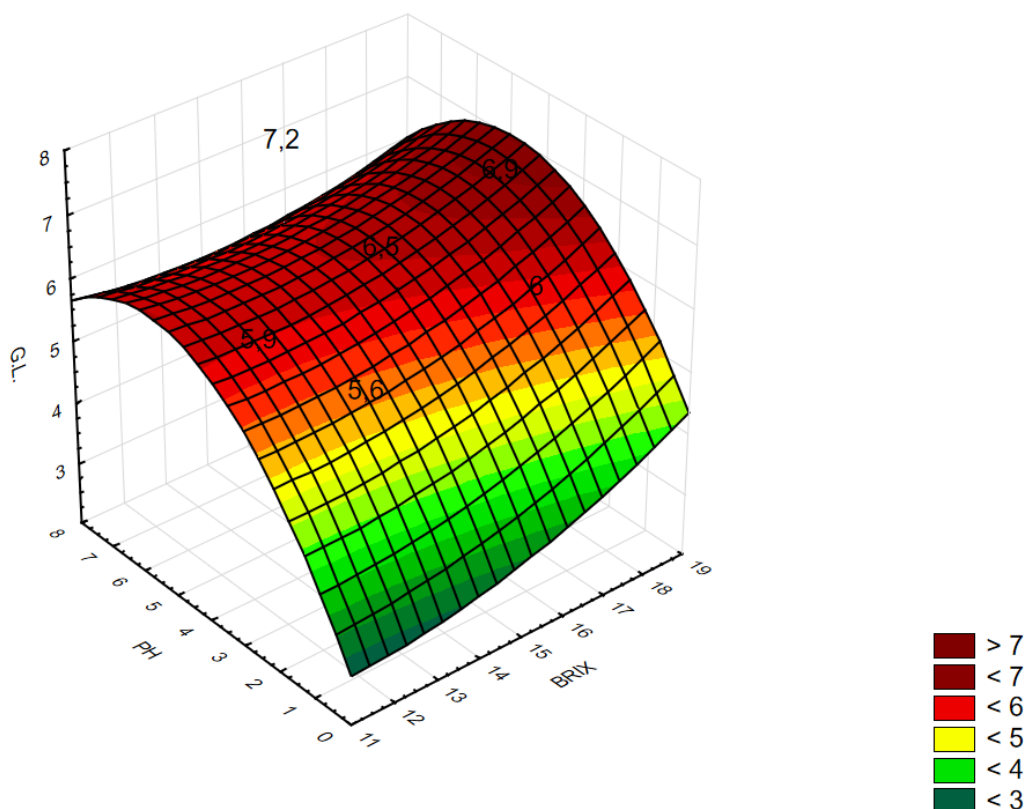
Fonte: Do autor (2019)

Na Figura 13 superfície de resposta do grau alcoólico G.L, obtido a partir dos fatores de brix e pH, **COM** controle de temperatura, tem superfícies diferentes, mas quase com os mesmos resultados.

- pH em torno de 4, apresenta os maiores valores de G. L.
- BRIX em torno de 15, apresenta os maiores valores de G. L.

Figura 13- Superfície de resposta do grau alcoólico G.L, obtido a partir dos fatores de brix e pH, COM controle de temperatura.

$$\text{G.L.} = 5,2192 - 0,4616 \cdot \text{BRIX} + 1,4395 \cdot \text{PH} + 0,0219 \cdot \text{BRIX} \cdot \text{BRIX} - 0,0187 \cdot \text{BRIX} \cdot \text{PH} - 0,1094 \cdot \text{PH} \cdot \text{PH}$$



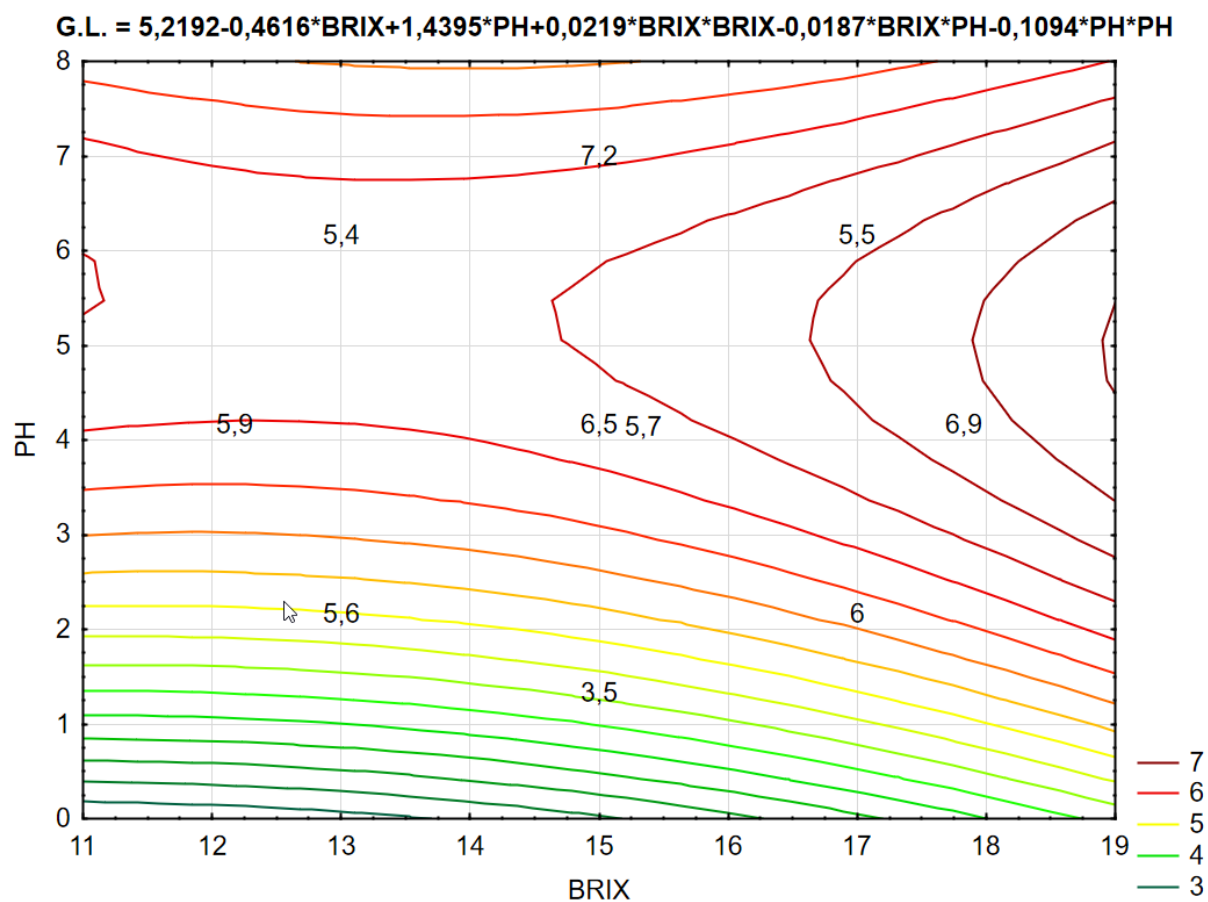
Fonte: Do autor (2019)

A superfície de resposta mostrada na figura 13, foi ajustada através de um polinômio de 2 grau.

A equação desse polinômio nos permite encontrar os valores de °GL para quaisquer valores de BRIX e pH, dentro dos valores utilizados destes parâmetros no planejamento

Na Figura 14 curva de contorno da resposta grau alcoólico G.L, obtido a partir dos fatores de brix e pH, **COM** controle de temperatura, mostrada abaixo, nos mostra mais claramente a recomendação da literatura

Figura 14- Curvas de contorno da resposta do grau alcoólico G.L, obtido a partir dos fatores de brix e pH, SEM controle de temperatura.



Fonte: Do autor (2019)

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho, mostrou a importância do controle da temperatura na fermentação alcoólica para a produção da cachaça artesanal, utilizando para isso técnicas de Planejamento Fatorial 2^2 com ponto central, a superfície de resposta e as curvas de contorno.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Incluir temperaturas diferentes como um fator, no intuito de encontrar a melhor temperatura de fermentação alcoólica.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, W.G. **CONSUMO HÍDRICO E COEFICIENTE DE CULTIVO DUAL DA CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADA SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO** (Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande) CAMPINA GRANDE - PB, 2012 .

ALCARDE, A.R. **CACHAÇA: Ciência, Tecnologia e Arte**. São Paulo: Editora Edgard Bluchen, p. 96, 2010.

AMARAL, F.S. **INFLUÊNCIA CONJUNTA DO pH, TEMPERATURAS E CONCENTRAÇÕES DE SULFITO NA FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA DE MOSTO DE SACAROSE** (Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia) Uberlândia - MG , 2009.

BASTOS R.G. **TECNOLOGIAS DAS FERMENTAÇÕES FUNDAMENTOS DE BIOPROCESSOS**, São Carlos, p. 13-14, 2010.

BRASIL. **MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO**. Instrução Normativa nº. 13, de 29 de junho de 2005. Brasília, 2005a. Disponível em: <<http://imanet.ima.mg.gov.br/nova/gec/Legistacao/mapa/IN13.pdf>>. Acesso em: 2 de janeiro. 2019.

CAETANO, A.C.G et al. **CONTROLE DE CONTAMINANTES BACTERIANOS NA FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA COM A APLICAÇÃO DE BIOCIDAS NATURAIS**. Ciência & Tecnologia, v. 2, p. 29-30, 2011.

CANAONLINE. **PREÇO DO BAGAÇO DE CANA COMEÇA A REAGIR: 2016** Disponível em: http://www.canaonline.com.br/conteudo/preco-do-bagaco-de-cana-comeca-a-reagir.html#.XDC_ZlVki1s>. Acesso em: 05 de janeiro de 2019

CASCUDO, C. **PRELÚDIO DA CACHAÇA**. Rio de Janeiro, v. 1, 2006.

CEBALLOS-SCHIAVONE, C. H. M. **TRATAMENTO TÉRMICO DO CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR VISANDO A REDUÇÃO DE CONTAMINANTES BACTERIANOS - LACTOBACILLUS – NA PRODUÇÃO DE ETANOL E EFICIÊNCIA DE TRATAMENTO DO FERMENTO POR ETANOL 177f** (Dissertação Faculdade de Ciência de alimentos - Escola Superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo) Piracicaba- SP, 2009.

CECATO-ANTONINI., S.R. **MICROBIOLOGIA DA FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA A IMPORTÂNCIA DO MONITORAMENTO MICROBIOLÓGICO EM DESTILARIAS**, São Carlos, p. 14, 2010.

CHAPIUSKI. **O QUE É O ALAMBIQUE E COMO É FEITO?** 2017. Disponível em: <<http://http://chapiuski.com.br/alambique/>>. Acesso em: 16 de janeiro de 2019.

FERREIRA, L. V. **ESTUDO DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA EM FRASCOS AGITADOS** (Tese apresentada a Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas) Campinas- SP, 2002.

FILHO W.G.V. **AGUARDENTE E CACHAÇA**, Botucatu, p. 35, 2013

GALDIANO, L. C. **QUALIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp*) SUBMETIDA À APLICAÇÃO DE MATURADORES QUÍMICOS EM FINAL DE SAFRA** (Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias) São Paulo, 2008.

GARCIA, G. **TRATAMENTO DO CALDO E TIPOS DE FERMENTOS SOBRE OS COMPONENTES SECUNDÁRIOS E QUALIDADE DA CACHAÇA DE ALAMBIQUE** (Dissertação apresentada a faculdade de ciências agrárias e veterinária da Universidade Estadual Paulista) Jaboticabal , 2016.

GONÇALVES, C.M.; **USO DE LEVEDURA SELECIONADA EM ESCALA PILOTO PARA A PRODUÇÃO DE CACHAÇA DE ALAMBIQUE**. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, 2015.

GUTIERRES L.E. **PRODUÇÃO DE GLICEROL POR LINHAGENS DE SACCHAROMYCES DURANTE FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA**, Piracicaba, São Paulo , p. 56-57, 1991.

HAMERSKI, F. **ESTUDO DE VARIÁVEIS NO PROCESSO DE CARBONATAÇÃO DO CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR** (dissertação apresentada ao curso de pós-graduação em ciência de alimentos da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais) Minas Gerais , 2005 .

HISTÓRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR. São Paulo, 2006. Disponível em: http://www.siamig1.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=16&Itemid=61. Acesso em: 22/03/2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DA CACHAÇA (IBRAC). **UM POUCO DE HISTÓRIA:** 2011. Brasília, 2011. Disponível em: < <http://www.ibrac.net/index.php/ig-cachaca/historia-da-cachaca> >. Acesso em: 27 de dezembro. 2018.

JÚNIOR, B.F.S. **PREPARAÇÃO DO CARVÃO ATIVADO A PARTIR DO CARVÃO VEGETAL E SUA AVALIAÇÃO NO PROCESSO DE ADSORÇÃO DO COBRE PRESENTE EM CACHAÇA ARTESANAL** (Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia) Uberlândia - MG , 2017.

JUNIOR, J. N. **DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO TÉRMICO OTIMIZADO PARA MOSTO DE CALDO DE CANA NA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA** (Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas) São Paulo , 2005.

KUITAKE, M. T. **PROCESSAMENTO E ESTABILIDADE DO CALDO DE CANA ACIDIFICADO** (Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo) PIRASSUNUNGA , 2012

LIMA, A. de J.B.; CARDOSO, M.G.; GUERREIRO, M. C. PIMENTEL, F. A. **QUIM. NOVA** 2006, 29, 207.

LIMA, Annete de J. Boari. CARDOSO, Maria das Graças. GUERREIRO, Mário César.

LOPES et. al, C.H. et al. **PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE CANA-DE-AÇÚCAR**. São Carlos, v. 1, p. 45, 2011.

MAPA DA CACHAÇA. **EXPORTAÇÃO DA CACHAÇA NO PRIMEIRO SEMESTRE DE 2018**: 2018. São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://www.mapadacachaca.com.br/artigos/qual-a-diferenca-entre-cachaca-e-aguardente/>>. Acesso em: 28 de dezembro. 2018.

MARGULIS, S.et al. **ECONOMIA DA MUDANÇA DO CLIMA NO BRASIL**. Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas – Centro Clima/COPPE/UFRJ., Rio de Janeiro p. 56-58.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **AGROSAT**: 2018. Governo, 2018. Disponível em: <<http://indicadores.agricultura.gov.br/index.htm>>. Acesso em: 08 janeiro. 2018.

MOKFA, A. PFULLER, E. E; **ELABORAÇÃO DE AÇÚCAR MASCAVO ECOLÓGICO NA AGROINDÚSTRIA FAMILIAR E CO AÇÚCAR EM PAIM FILHO**. RAMVI, Getúlio Vargas, v. 02, n. 04, jul./dez. 2015.

NASCIMENTO, R. F et al. **INFLUÊNCIA DO MATERIAL DO ALAMBIQUE NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS AGUARDENTES DE CANA-DE-AÇÚCAR**. Departamento de Alimentos e Nutrição – FCF- UNESP- São Paulo.

NOQUEIRA, A.M.P et al. **AGUARDENTE DE CANA** (Monografia apresentada a Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista) BOTUCATU , 2005.

NOVACANA. **FUNCIONAMENTO DE UMA USINA (DESTILARIA) DE ETANOL**: 2018 Disponível em: <https://www.novacana.com/etanol/funcionamento-usina-destilaria>>. Acesso em: 05 de janeiro de 2019.

ODELO, L; BRACESCHI. G.P; SEIXAS. F. R. F; SILVA. A. A; GALINARO. C. A; FRANCO. D. W. **AVALIAÇÃO SENSORIAL DE CACHAÇA**. Quím. Nova vol. 32 nº.7 São Paulo 2009.

OLIVEIRA, A.M.L. **O PROCESSO DE PRODUÇÃO DA CACHAÇA ARTESANAL E SUA IMPORTÂNCIA COMERCIAL** (Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Microbiologia do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais) Belo Horizonte - MG , 2010.

OLIVEIRA, C. G et al. **ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DO COMÉRCIO DE CALDO DE CANA EM VIAS PÚBLICAS DE MUNICÍPIOS PAULISTAS**. Segurança Alimentar e Nutricional. Campinas, 2006.

OLIVEIRA, R. E.S. et al. **SISTEMA DE DESTILAÇÃO DE EMPRESAS PRODUTORAS DE CACHAÇA DE DO ESTADO DA PARAÍBA**. Departamento de Engenharia de Alimentos – UFPB- Paraíba.

PAYNE, J. H. (1989). **OPERAÇÕES UNITÁRIA NA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR DE CANA**. tradução Floreal Zarpelon. São Paulo: Nobel: STAB, 1989.

PEREIRA, A.F. et al. **ADIÇÃO DE FONTES DE NITROGÊNIO E DE DUAS LINHAGENS DE LEVEDURAS NA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA PARA PRODUÇÃO DE CACHAÇA**. Revista de engenharia química, V.1, 2015.

PIMENTEL, Flávio Araújo. **EMPREGO DO CARVÃO ATIVADO PARA REMOÇÃO DE COBRE EM CACHAÇA**. Quím. Nova vol. 29 no 2 São Paulo Mar./Apr. 2006.

PORTALACTION, EXPERIMENTO COMPOSTO CENTRAL, Disponível em: <http://www.portalaction.com.br/planejamento-de-experimento/611-experimento-composto-central>; Acesso em: 25 de abril. 2019.

PORTALACTION, SUPERFÍCIE DE RESPOSTA, Disponível em: <http://www.portalaction.com.br/planejamento-de-experimento/superficie-de-resposta>, Acesso em: 25 de abril. 2019.

SALES, L. R. **SELEÇÃO DE CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR POTENCIAIS PARA PRODUÇÃO DE CACHAÇA ARTESANAL** (Dissertação apresentada a Universidade Federal de Lavras) Lavras , 2013.
SEBRAE. **CACHAÇA ARTESANAL SÉRIE ESTUDOS MERCADOLÓGICOS**. Brasília, p.13, 2012.

SILVA, A. P. **COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE AGUARDENTE REDESTILADA EM FUNÇÃO DO GRAU ALCOÓLICO DO FLEGMA** (Dissertação apresentada para obtenção do título mestre em ciência de alimentos - Escola Superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo) Piracicaba- SP, 2016.

SILVA, P.B. **ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE SEIS GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDOS A ESTRESSE HÍDRICO** (Dissertação apresentada à Universidade Federal de Alagoas como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e Proteção de Plantas) RIO LARGO – AL, 2010.

SILVA, R. B. et al. **APLICAÇÃO DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA NO PROCESSO DE CLARIFICAÇÃO DO CALDO DE CANA PARA A PRODUÇÃO DE AÇÚCAR**. In: XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2008. Disponível em: Acesso em: 09 janeiro. 2019.

SIQUEIRA, E.P. **EFEITO DA TEMPERATURA NA CINÉTICA DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA CONTINUA COM ALTA DENSIDADE CELULAR** (Tese apresentada a Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para o título mestre em engenharia de alimentos) Campinas- SP, 1997 .

SOUZA, L. M et al. **PRODUÇÃO DE CACHAÇA DE QUALIDADE**. São Paulo, v. 1, p. 30-31, 2013.

SOUZA, P.A. **PRODUÇÃO DE AGUARDENTE DE CANA-DE-AÇÚCAR POR DUPLA DESTILAÇÃO EM ALAMBIQUE RETIFICADOR** (Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre em ciências) Piracicaba, 2009.

SOUZA, R.L. **CACHAÇA, VINHO, CERVEJA DA COLÔNIA DO SÉCULO XX**. Estudo históricos, Rio de Janeiro p. 56-58, 2004.

STEILE, L.A. **FATORES QUE INTERFEREM NA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA**. (Monografia apresentada ao programa de pós-graduação em gestão do setor sucroalcooleiro) –Universidade Federal de São Carlos, Sertãozinho, 2013.

VERDI, A.R. **DINÂMICAS E PERSPECTIVAS DO MERCADO DA CACHAÇA**. Informações Econômicas, São Paulo, p. 93, 2006.

VILELA, A.F. **ESTUDO DA ADEQUAÇÃO DE CRITÉRIOS DE BOAS PRÁTICAS DE FABRICAÇÃO NA AVALIAÇÃO DE FÁBRICAS DE CACHAÇA DE ALAMBIQUE** (Dissertação apresentada ao Instituto de Química da Universidade Estadual Paulista) ARARAQUARA , 2005.

VILELA, A.F. **ESTUDO DA ADOÇÃO DE CRITÉRIOS DE BOAS PRÁTICAS DE FABRICAÇÃO NA AVALIAÇÃO DE FÁBRICAS DE CACHAÇA DE ALAMBIQUE** (Dissertação apresentada ao Instituto de Química da Universidade Estadual Paulista) ARARAQUARA , 2015 .