



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA**



# **PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

## **Dissertação de Mestrado**

**PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA  
AGUARDENTE DO FRUTO DA PALMA FORRAGEIRA  
(Opuntia ficus – indica Mill)**

**ALEKSANDRA SILVA ROCHA**

**Campina Grande  
Paraíba**



LUNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS



COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

DISSERTAÇÃO

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO  
DE PRODUTOS AGRÍCOLAS

PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA AGUARDENTE DO FRUTO  
DA PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia ficus – indica* Mill)

ALEKSANDRA SILVA ROCHA

Campina Grande – PB

Fevereiro - 2008

**PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA AGUARDENTE DO FRUTO  
DA PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia ficus – indica* Mill)**

**ALEKSANDRA SILVA ROCHA**

**Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.**

**Área de Concentração: Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas**

**Orientadores: Flávio Luiz Honorato da Silva**

**Josivanda Palmeira Gomes**

**Campina Grande – PB**

**Fevereiro – 2008**

DIGITALIZAÇÃO:  
SISTEMOTECA - UFCG

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

R672p

2008 Rocha, Aleksandra Silva

Produção e avaliação físico-química da aguardente do fruto da palma forrageira (*Opuntia ficus - indica* Mill) / Aleksandra Silva Rocha.— Campina Grande, 2008.

76 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientadores: Prof. Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva, Profa. Dra. Josivanda Palmeira Gomes

1. Fermentado. 2. Levedura. 3. Etanol I. Título.

1. Fermentação de levedura

CDU - 633.3(043)

663.14(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



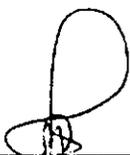
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DA MESTRANDA

ALEKSANDRA SILVA ROCHA

PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA AGUARDENTE DO FRUTO DA  
PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia ficus-indica* Mill)

BANCA EXAMINADORA

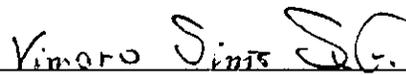
PARECER

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva - Orientador

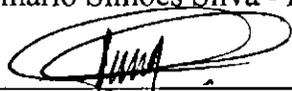
Aprovado

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Josivanda Palmeira Gomes - Orientadora

APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Vimário Simões Silva - Examinador

APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Juarez Paz Pedroza - Examinador

Aprovada

FEVEREIRO - 2008

*Tudo é do pai  
Toda honra e toda glória  
É dele a vitória  
Alcançada em minha vida  
Tudo é do pai  
Se sou fraco e pecador  
Bem mais forte é o meu senhor  
Que me cura por amor...*

*(Pe. Marcelo Rossi)*

*Aos meus pais, Mário Rocha (in memoriam) e Marinês Silva,  
cujos exemplos de vida, fé e perseverança  
são meus guias*

*e a Deus,*

*Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que durante toda a minha vida caminhou ao meu lado e neste novo desafio me carregou em seus braços para que eu pudesse subir mais um degrau em minha carreira profissional e superar os desafios impostos no meu caminho.

Aos meus amados pais Mário (*in memoriam*) e Marinês que sempre cultivaram valores importantes para a nossa formação dando-nos como base a oração e a disciplina para podermos seguir em frente e fazermos a nossa história sem perder o foco principal o amor ao próximo e a Deus.

Aos meus irmãos pela compreensão e incentivo em todos os momentos Júnior, Mariana e a minha querida irmã Adriana que durante toda a minha vida não foi só uma irmã, mas um presente que Deus me deu. O carinho dos meus sobrinhos Gabrielly, Maria Eduarda, Mário, Renan e Rafaela pelo apoio e compreensão.

Ao meu orientador Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva meus especiais agradecimentos principalmente pela paciência, valiosa orientação apoio e pelo profissional competente que é. Um exemplo de educador e de pessoa humana e além de tudo um parceiro de Deus.

A minha orientadora Dr<sup>a</sup> Josivanda Palmeira Gomes pela sua alegria disponibilidade, apoio e compreensão durante todo o curso.

A professora Líbia que me apoiou no momento que mais precisei.

Ao professor João Evangelista pela atenção, apoio e contribuição, meus agradecimentos.

A minha querida amiga Iane, tão forte e ao mesmo tempo tão frágil semelhante, a uma flor que Deus generosamente me deu e eu faço questão de todos os dias regá-la nem que seja em pensamento pedindo sempre proteção e muita luz no seu caminho.

A meu porto seguro Márcia que sempre com um sorriso amigo e sincero me fez acreditar que eu poderia chegar aonde cheguei, sua amizade é como a luz do sol aquecendo a minha alma. Amiga de verdade é aquela parte que falta em nós e Deus com sua bondade infinita coloca em nosso caminho.

A vida brilha mais intensamente quando temos uma amiga que realmente vale a pena e ela me faz acreditar em um mundo melhor, com sua simplicidade e amor ao próximo demasiado, seu sorriso espontâneo se casa perfeitamente com a natureza. Esta é a minha linda amiga Karen.

A Dona Fátima pela atenção e boa vontade comigo e com toda a minha família, uma anjo de Deus.

Ao excelente pesquisador e amigo Clóvis Gouveia da Silva pelo apoio incondicional na execução deste trabalho e amizade valiosa que é o bem mais precioso que um ser humano pode ter.

A minha amiga Skaymenn pela amizade, carinho e pelo incentivo de sempre seguir em frente.

Agradeço imensamente e carinhosamente a Mércia pela disponibilidade e amizade.

Aos colegas de trabalho do laboratório de Engenharia Bioquímica que me apoiaram durante todo o trabalho Bruno, Beatriz, Sulamy, Rosane, Moacir, Thiago, Shirlene.

Aos funcionários dos laboratórios de Engenharia Bioquímica seu Jardes, seu Lopes, seu Nogueira, seu João.

A Ezenildo pelo fornecimento do fruto figo-da-índia meus sinceros agradecimentos.

Aos amigos de Engenharia Agrícola pelo carinho e apoio que sempre me deram em todos os momentos, Viviane, Wólia, Luciene, José Carlos, Adriano e Hermeval.

A Rivanilda pela atenção, educação e bom-humor, carinhosamente agradeço.

A todos da comunidade São Sebastião que com muita fé torceram por mim durante toda a minha vida, são como um alicerce de todas as horas estão ali para me abraçar junto com Cristo. Que Deus nos abençoe.

A Alessandra da comunidade dos remidos que com o seu jeitinho meigo sempre me apoiou com uma palavra amiga nos momentos que precisei todo o meu carinho.

A Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

A CAPES pelo apoio a pesquisa e o incentivo financeiro.

E a todos que de alguma forma contribuíram, alguns foram gestos pequenos, mas que fizeram a diferença.

*MUITO OBRIGADA*

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	x
<b>LISTA DE TABELAS</b>	xi
<b>RESUMO</b>	xii
<b>ABSTRACT</b>	xiii
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO</b>	14
1.1 Justificativa	16
1.2 Objetivos	17
1.2.1 Objetivo geral	17
1.2.2 Objetivos específicos	17
<b>CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	18
2.1 Taxonomia e características da palma forrageira	18
2.2 Origem	18
2.1.2 Descrição da planta	19
2.1.3 Cultivo	20
2.1.4 Características da fruta e de suas variedades	21
2.2 Fermentação alcoólica	22
2.3 Processo de destilação	24
2.3.1 Aldeídos	26
2.3.1.1 Acetaldeído	26
2.3.2 Ésteres	27
2.3.3 Álcoois superiores	27
2.3.4 Cobre	28
2.3.5 Bidestillação	28
2.4 Envelhecimento	29
2.5 Microbiologia do fermentado	31
2.5.1 Leveduras	31

2.6 Estado da arte	32
<b>CAPÍTULO 3. MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>36</b>
3.1 Matéria-prima	36
3.2 Microrganismo	36
3.3 Metodologia	36
3.3.1 Caracterização físico-química dos frutos utilizados na produção do fermentado do figo-da-índia	36
3.3.1.1 Recepção e seleção	36
3.3.1.2 Lavagens e pesagens	38
3.3.1.2.1 Rendimento em relação ao fruto	38
3.3.1.3 Extração e filtração da polpa do fruto	39
3.3.1.3.1 Caracterização físico-química da polpa do fruto	39
3.3.1.3.1.1 Açúcares redutores totais (ART)	40
3.3.1.3.1.2 Sólidos solúveis totais (°Brix)	40
3.3.1.3.1.3 Acidez total, fixa e volátil	41
3.3.1.3.1.4 pH	41
3.3.1.4 Multiplicação do inóculo	42
3.3.1.4.1 Utilização da levedura comercial	42
3.3.1.4.1.2 Clarificação	42
3.3.1.4.1.2.3 Sulfitação	43
3.3.1.4.1.3 Adição de fonte de nitrogênio e fósforo (N e P)	43
3.3.1.4.1.3.4 Chaptalização	43
3.3.1.5 Fermentação	43
3.3.1.6 Engarrafamento	44
3.3.1.7 Pasteurização	44
3.3.2 Análises físico-químicas do processo de fermentação alcoólica	45
3.3.2.1 Concentração de etanol (teor alcoólico)	45
3.3.2.2 Percentual de conversão, produtividade e parâmetros cinéticos fermentação alcoólica	45
3.3.2.3 Centrifugação do fermentado	46
3.3.3 Produção da bebida destilada do fruto do figo-da-índia	47
3.3.3.1 Bidestilação	48

3.3.3.2 Caracterização físico-química do destilado do fruto do figo-da-índia	48
3.3.3.2.1 Análises cromatográficas da bebida destilada	48
3.3.4 Armazenamento (descanso)	49
3.3.4.1 Caracterização físico-química da bebida descansada do fruto do figo-da-índia	49
3.3.4.2 Cálculo da redução do volume e do grau alcoólico da aguardente armazenada	49
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>50</b>
4.1 Caracterização física e físico-química dos frutos utilizados na produção do fermentado do figo-da-índia	50
4.2 Estudo da fermentação alcoólica para produção do fermentado do figo-da-índia	52
4.2.1 Cinética da fermentação alcoólica usando o inóculo levedura selecionada	52
4.2.2 Fermentação alcoólica usando o inóculo levedura comercial	57
4.2.3 Considerações gerais da produção de fermentado do fruto figo-da-índia	58
4.3 Estudo da destilação (produção da aguardente)	60
4.3.1 Processo de destilação	60
4.3.2 Armazenamento (descanso e envelhecimento)	65
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES</b>	<b>67</b>
<b>CAPÍTULO 6. PERSPECTIVAS PARA FUTUROS TRABALHOS</b>	<b>68</b>
<b>CAPÍTULO 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>69</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>	
2.1	Plantação da <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill	18
2.2	Fruto da palma forrageira ( <i>Opuntia ficus</i> )	22
3.1	Etapas dos experimentos realizadas na elaboração da bebida fermentada e destilada respectivamente	37
3.2	Espectrofotômetro	40
3.3	Refratômetro	41
3.4	pHmetro digital	41
3.5	Centrífuga	46
3.6	Alambique de cobre	47
3.7	Barril de madeira umburana ( <i>Amburana cearensis</i> )	49
4.1	Comportamento do substrato (ART) durante a fermentação alcoólica	52
4.2	Curva de crescimento celular durante a fermentação alcoólica	53
4.3	Comportamento dos valores médios da concentração do ART durante a fermentação alcoólica	54
4.4	Comportamento dos valores médios do etanol durante a fermentação alcoólica	54
4.5	Comportamento da acidez total titulável durante a fermentação alcoólica	55
4.6	Comportamento do pH durante a fermentação alcoólica	55
4.7	Comportamento da acidez volátil durante a fermentação alcoólica	56
4.8	Cinética da bidestilação para produção de aguardente de figo-da-índia	60

## LISTA DE TABELAS

	<b>Página</b>
2.1 Teor alcoólico de mistura binária x ponto de ebulição	25
4.1 Caracterização física do fruto figo-da-índia	50
4.2 Dados referentes às pesagens e rendimentos dos frutos figo-da-índia utilizados na produção de bebida fermentada	51
4.3 Caracterização físico-química da polpa do fruto	51
4.4 Caracterização físico-química do fermentado do fruto figo-da-índia utilizados na produção de bebida fermentada	58
4.5 Parâmetros cinéticos dos fermentados	58
4.6 Análises físico-químicas e dos componentes voláteis, metanol e álcoois superiores (levedura comercial)	62
4.7 Análises físico-químicas e dos componentes voláteis, metanol e álcoois superiores (aguardente da levedura de algaroba)	63
4.8 Estudo das perdas no processo de descanso da aguardente em barril de umburana	65

## RESUMO

O futuro das zonas áridas e semi-áridas do mundo depende do desenvolvimento sustentável de sistemas agrícolas baseados numa seleção adequada de cultivos. Os cultivos mais apropriados são os que podem suportar condições de falta de água, altas temperaturas, solos pobres que exijam poucos insumos energéticos, e que sejam de fácil manejo no plantio, para que proporcionem alimento e forragem para a agricultura de subsistência, além do mais é importante que o produto e/ou subproduto sejam apreciados e tenham valor no mercado internacional. Uma das formas de valorizar a cultura da palma forrageira e contribuir para o desenvolvimento sustentável da região nordestina é utilizar o fruto (figo-da-índia) como matéria-prima para produzir fermentado (vinho) e aguardente, produtos que apresentam longa vida de prateleira e têm altos índices de comercialização. Trabalho foi realizado com o objetivo de estudar a produção e avaliar a composição físico-química da aguardente da fruta da palma forrageira confrontando com a legislação vigente para bebidas. A metodologia consistiu na produção dos fermentados do fruto integral (casca e polpa) utilizando-se de um reator em operação batelada na temperatura de 30 °C e inoculando-se com levedura comercial e selecionada de algaroba. Os fermentados foram destilados em alambique de cobre e separado as frações: cabeça (10%), coração (80%) e cauda (10%). Foram realizadas análises de °Brix, acidez total (g/100mL), pH, concentração de etanol (%v/v), metanol, acetaldeído, ésteres (g/100mL) álcoois superiores n-propanol, isobutanol, isoamílico (g/100mL) do destilado e fermentado, confrontando-se as análises físico-químicas das aguardentes dos destilados dos fermentados utilizando-se da levedura comercial e selecionada de extrato de algaroba. Verificou-se que os produtos se encontram com as características exigidas pela legislação brasileira acerca de bebida, ou seja, concentração de etanol na aguardente de 34,9 e 46,2% °GL (% v/v), respectivamente. Os componentes secundários estão todos abaixo do máximo permitido, com exceção dos álcoois superiores do inóculo da levedura selecionada do caldo da algaroba o qual esteve um pouco acima do permitido. A produção da aguardente aproveitando o fruto integral figo-da-índia é uma alternativa promissora e tecnicamente viável.

**Palavras-chave:** fermentados, levedura, etanol

## ABSTRACT

The future of semi arid and arid regions of the world depends on sustainable development of agricultural systems based on adequate crop selection. The most appropriate crops are those that can support conditions of lack of water, high temperatures, poor soils, demand little energy inputs, are easily managed in the field, in order to provide food and forage for subsistence agriculture. It is also important that the product and / or sub products are liked and that it has value in the international market. One of the ways of increasing the value of prickly pear cactus and to contribute to sustainable development in the northeast region is to use the tuna fruit as an ingredient to produce fermented (wine) and distilled spirits, products that have a long shelf life and high marketing indexes. This study was undertaken with the objective of studying the production of fermented whole fruit (skin and flesh) products using a reactor in a agitator operation at the temperature of 30 °C and inoculating with a commercial yeast and a selected 'algaroba' yeast. The fermented products were distilled in a copper still and separated into the following parts: head (10%), heart (80%) and juice (10%). The following °Brix analysis were carried out: total acidity (g/100 mL), pH, ethanol concentration (% v/v), methanol, acetaldehyde, esters (g/100 mL), superior alcohols n-propanol, isobutanol, isoamilico (g/100 mL) of the distilled and fermented products, comparing them with the physical-chemical analysis of distilled and fermented spirits, using commercial and selected 'algaroba' yeasts. It was verified that the products have the characteristics required by Brazilian alcohol legislation, specifically, ethanol concentration in rum of 34.9 and 46.2% °GL (% v/v), respectively. The secondary components are all below the maximum permitted, with the exception of superior alcohols of yeast inoculants selected from the 'algaroba' juice which were a bit above the permitted level. The production of spirits using the whole prickly pear fruit is a promising alternative and is technically viable.

**Key words:** fermented, inoculating, ethanol

## CAPÍTULO I

### 1. INTRODUÇÃO

A palma forrageira é uma planta da família das cactáceas, também conhecida como palmatória, muito utilizada na alimentação do gado. Sua origem se deu no México sendo introduzida no Brasil no final do século XIX (FAO, 2001).

Para SANTOS et al. (1998) a cultura da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill), constitui-se numa importante alternativa forrageira para as regiões semi-áridas. O uso da fruta da palma na alimentação humana era comum no México desde o período que antecedeu a colonização espanhola (INGLESE, 2001). Após a conquista, a fruta manteve seu papel básico na dieta da população mexicana à época e, decorrido um século, já estava sendo consumida no Sul da Itália e na ilha da Sicília (VARVARA apud INGLESE, 2001).

Dos planaltos mexicanos a palma migrou para outras regiões, onde está sendo cultivada para produção de frutos. Também é cultivada nas zonas áridas e semi-áridas do mundo inteiro, em sistemas sustentados com altos rendimentos e baixa demanda de energia (BALDINI et al., 1982).

Cada espécie do gênero *Opuntia* produz frutos de diferentes formas cores e sabor (CANTWELL, 2001).

A produtividade de frutas é muito variável entre os países produtores, porém é superior a de outras frutíferas cultivadas no semi-árido, bem como a época de colheita (INGLESE, 2001).

A fruta tem sido chamada de uma “flor madura”. É uma baga simples e carnosa, mas como é formada por um ovário inferior fundido em tecido de caule do receptáculo, deveria ser considerada como uma baga falsa (BOKE, 1964; PIMIENTA & ENGELMAN 1985; WESSELS & CROUKAMP, 1992). O seu tamanho depende da quantidade de sementes fecundadas e abortadas (ARCHIBALD, 1935; PIMIENTA, 1990; BARBERA et al., 1994).

Devido a sua rusticidade, facilidade de manejo e versatilidade a palma pode ser aplicada com excelentes resultados para viabilizar pequenos projetos agroindustriais, mantendo o produtor no campo e resgatando a sua confiança nos recursos disponíveis para a sua subsistência (SUASSUNA, 2004).

A importância de usufruir ao máximo a diversidade da fruticultura brasileira faz com que um maior número possível de frutos silvestres e nativos seja caracterizado. Assim, a

análise dos frutos da palma poderá valorizar sua comercialização estimulando seu cultivo e evitando o desperdício no campo (SUASSUNA, 2004).

Uma das formas de valorizar ainda mais a cultura da palma e contribuir para o desenvolvimento sustentável da região Nordeste onde as condições de subnutrição estão presentes na vida de largos contingentes da população é utilizar o figo-da-índia como matéria-prima para produzir fermentado (vinho), vinagre e aguardente, produtos que apresentam vida de prateleira e têm altos índices de comercialização (LOPES, 2005). Sendo assim foi utilizado neste trabalho o fruto da palma forrageira que tem como características físicas formas obovaladas, com espinhos no pericarpo, e possui elevado valor nutritivo apresentando também na sua composição fibras, carboidratos solúveis e cálcio, sendo rica em vitaminas (principalmente A e C) cálcio e magnésio. A polpa amarelo ouro tem aparência porosa, com pequenas e numerosas sementes pretas (ASKAR & EL-SAMAHY, 1981; SAÉNZ et al., 1998). Apresenta sabor doce uma leve acidez e bastante refrescante (LOPES, 2005).

Segundo LOPES (2005) a destilação do fermentado (vinho) foi descoberta pelos árabes no início da idade média de onde também se origina a palavra álcool. No século X o filósofo Avicena produziu uma descrição completa do alambique.

A aguardente é composta principalmente de água e álcool, em proporções variáveis, segundo a sua graduação. Compõem-se ainda de componentes secundários em baixas quantidades, embora importantes. Estes compostos pertencem às seguintes classes: aldeídos, ácidos, álcoois superiores, ésteres, furfural, terpenos, pirazinas, dentre outros (LIMA, 1964).

Buscando valorizar a cultura da palma forrageira, utilizando-se do fruto (figo-da-índia), o presente trabalho teve por objetivo estudar a cinética de destilação do fermentado da fruta da palma forrageira para produção de aguardente, observando-se a caracterização físico-química para confrontar com a legislação vigente (BRASIL, 1997).

## 1.1 Justificativa

Agregar valor a culturas como o pedúnculo do caju, abacaxi e o figo-da-índia (fruto da palma forrageira) é o que a Universidade Federal de Campina Grande vem desenvolvendo através de pesquisas com o intuito de minimizar o desperdício dessas culturas especialmente na região Nordeste do Brasil onde a subnutrição que assola a região se contradiz com a abundância dessas culturas ricas em nutrientes que são simplesmente desperdiçadas por falta de conhecimento dos produtores em valorizar o seu produto através de técnicas agrícolas apropriadas, manuseio, transporte e o conhecimento do valor nutritivo dos seus produtos.

Rica em valores nutritivos e encontrada em grande quantidade na região Nordeste do Brasil especialmente no Cariri paraibano, a palma forrageira e especificamente o seu fruto figo-da-índia poderá fazer com que a produção do destilado (aguardente) através de pequenos produtores se torne uma técnica viável em se tratando de uma região tão carente e rica onde a princípio o único objetivo é ser utilizado para alimentação bovina produzindo assim produtos que possuam características de aceitabilidade perante o consumidor dentro das especificações descritas pela legislação brasileira. A demanda de alimentos no Brasil é crescente e no contexto sócio-econômico à busca de alternativas que diminuam a desnutrição é importante além de contribuir para o desenvolvimento sustentável da população nordestina, pois, se trata de um fruto que além da produção de aguardente pode ser utilizado para produção de vinho e vinagre de boa qualidade.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

Estudar a produção e avaliar a composição físico-química da aguardente da fruta da palma forrageira confrontando com a legislação vigente para bebidas.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar físico-quimicamente o fermentado da fruta da palma forrageira (pH, cinzas, grau alcoólico, acidez volátil e total, °Brix - sólidos solúveis, substâncias voláteis – aldeídos, ésteres, metanol, álcoois superiores, n- propanol, isobutanol, isoamílico);

- Estudar os processos de produção da aguardente (destilado) do fermentado (vinho) da fruta da palma forrageira por destilação em batelada em alambique de cobre e o do envelhecimento em barril de madeira umburana (*Amburana cearensis*);

- Caracterizar físico-quimicamente o destilado da fruta (pH, cinzas, grau alcoólico, acidez volátil e total, °Brix - sólidos solúveis, substâncias voláteis – aldeídos, ésteres, metanol, álcoois superiores-n propanol, isobutanol, isoamílico), avaliando a sua composição e confrontando com a legislação vigente.

## CAPÍTULO II

### 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 Taxonomia e características da palma forrageira

Na Figura 2 encontra-se a foto da palma forrageira com suas principais características.

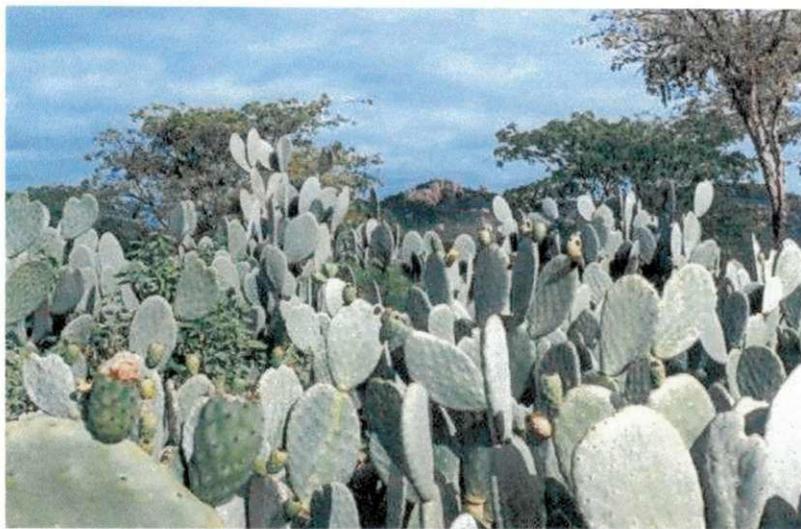


Figura 2.1 – Plantação da *Opuntia ficus- indica* (L.) Mill. Fonte: SEAGRI (2007); Nome popular: Palma forrageira; Nome científico: *Opuntia ficus- indica* Mill; Família botânica: cactaceae; Origem: México

##### 2.1.1 Origem

Ao contrário de todas as cactáceas, que só agora começaram a ser cultivadas experimentalmente, o gênero *Opuntia* que inclui a palma forrageira vem sendo plantada pelo homem a milhares de anos, tornando-se uma das plantas com cultivo mais antigo do México (HOFFMANN, 2001). Ainda o mesmo autor afirma que no ano de 1520 as *Opuntias* mexicanas foram levadas para a Europa. Este produto era o terceiro artigo de exportação mais importante do México, perdendo em importância econômica apenas para o ouro e a prata. Todavia, parece não existir dúvidas que, inicialmente no Brasil, a palma foi plantada com o objetivo de hospedar um inseto chamado cochonilha do carmim para produzir um corante vermelho, o que resultou em uma tentativa sem êxito. Com este insucesso a palma passou a

ser cultivada como planta ornamental, quando, que então passaram a cultivá-la como planta forrageira (FARIAS et al., 1984).

Desde o início do Século XX, a palma forrageira é cultivada com relativo sucesso no semi-árido nordestino e nas regiões áridas e semi-áridas dos Estados Unidos, México, África do Sul e Austrália, tendo sido introduzida no Brasil em 1880, no estado de Pernambuco, por meio de raquetes provenientes do Texas, EUA (DOMINGUES, 1963).

Conforme TEIXEIRA et al. (1999) a palma forrageira foi adotada, no Brasil, por apresentar características morfofisiológicas que a torna apropriada a regiões semi-áridas, constituindo-se uma das mais importantes bases de alimentação para bovinos. Na região Nordeste do Brasil, estima-se uma área plantada com palma forrageira em torno de 550.000 ha, destacando-se Pernambuco e Alagoas, estados que possuem, no momento, a maior área cultivada com esta cactácea.

### 2.1.2 Descrição da planta

A planta da *Opuntia ficus-indica* Mill é arborescente com 3–5 m de altura, coroa larga, caule com 60-150cm de largura, cladódios obovalados com 30–60cm de comprimento, 20–40 cm de largura e 19–28mm de espessura, verde escuro cobertos com uma camada de cera. As aréolas estão dispostas em 8-9 séries espirais, piriformes com 2 - 4,5mm de comprimentos e aproximadamente 1–3 mm de largura, os espinhos são quase ausentes raramente um em poucas aréolas, aproximadamente com 1 cm de comprimento, cor cinza, translúcidos. As flores com 7–9 cm de comprimento são da cor laranja ou amarela, o pericarpo é 2-2,5 vezes mais comprido que o perianto (SCHEINVAR, 2001).

A fruta é doce, suculenta, comestível, com 5–10 cm de comprimento e 4–8 cm de largura, piriforme ligeiramente curvada para o umbigo, amarela, laranja, vermelha ou púrpura com muita polpa e uma casca fina. As sementes vão de obovalados a discóide com 3–4 mm de diâmetro (FAO, 2001).

### 2.1.3 Cultivo

CARMELLO (1995) relata que é de grande importância o pecuarista conhecer o método de propagação da palma forrageira que irá ser cultivada na propriedade evitando com isto prejuízos.

LOPES (2001), fazendo um rastreamento sobre a cultura da palma forrageira na região Nordeste, afirmou que os municípios de Sertânea, PE, e Monteiro, PB, são tradicionalmente zonas produtoras desta forragem. As espécies da palma forrageira cultivada nesta região são a *Opuntia ficus-indica* Mill (palma gigante) e a *Nopolea cochinillifera* (palma doce ou miúda).

Na Bahia, a palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) faz parte do rol de atividades agrícolas de seqüiro do semi-árido, para suprir a falta de forragem para os animais nos períodos longos de seca. Entretanto, em alguns municípios, mormente na região da Chapada Diamantina, a palma é utilizada na alimentação humana. Com o broto da palma, também denominado palma-verdura, faz-se diversos pratos de culinária (GUEDES, 2002; GUEDES et al., 2004).

As *Opuntias* fazem parte do ambiente natural e dos sistemas agrícolas de muitas regiões do mundo. Algumas espécies podem atuar como ervas daninhas, como aconteceu na África, onde as condições ambientais são muito favoráveis. Esse comportamento como erva daninha parece acontecer em áreas onde a temporada úmida coincide com a alta temperatura (WESSELS, 1988); em climas mediterrâneos a propagação natural é limitada pela umidade e pelas temperaturas frias do inverno, bem como pelas condições quentes e secas do verão.

É difícil encontrar uma planta tão distribuída e explorada, sobretudo em zonas áridas e semi-áridas com economia de subsistência, que pela falta de recursos naturais e produtivos, forçam os agricultores e criadores (geralmente de animais de pequeno porte) a dar atenção a essas espécies, que podem aí sobreviver e produzir com rentabilidade. Assim, as *Opuntias* se converteram numa fonte inesgotável de produtos e funções, orientada para o mercado (BARBERA & INGLESE, 1993). O desenvolvimento variou de acordo com as condições físicas e as características culturais de cada país.

Com o aumento da quantidade de área em que a palma forrageira está sendo cultivada aumentou a oferta de vários produtos e sua presença no mercado mundial também aumentou. A razão do maior interesse nas *Opuntias* e em particular, na *Opuntia ficus-indica* é a importante função que elas podem ter no sucesso dos sistemas de agricultura sustentável em zonas áridas e semi-áridas. Isso se deve a seu alto grau de resistência á seca e a temperatura, a sua adaptabilidade a solos poucos férteis, a sua alta produtividade decorrente de sua alta

eficiência no uso da água , bem como a função econômica, nos lotes pequenos e médios de agricultores familiares, que buscam produzir para sua subsistência ou para alcançar os mercados nacionais e internacionais (PIMIENTA et al., 1993).

Na medida em que a palma forrageira requer pouca água e energia, adquire uma relevância importante, não apenas em regiões que sofrem de problemas ambientais e de falta de recursos, mas também em áreas desenvolvidas que se interessa em sistemas de produção intensivo com reduzido impacto ambiental.

Segundo WOIRGARDT (1988) as expectativas são boas, tendo em vista que uma pesquisa de opinião feita na Alemanha mostrou que 60% dos entrevistados deram respostas positivas ou muito positivas referente a intenção de comprar a fruta que acabavam de provar pela primeira vez. A comercialização adequada da fruta ou seus produtos envolvem requisitos que satisfaçam as demandas das cadeias atuais de distribuição e mercados de frutas, como capacidade de armazenagem, boa resistência ao transporte e manuseio, épocas de demanda do produto e boa apresentação. Os consumidores também prestam atenção aos aspectos organolépticos e nutritivos, sem esquecer as características de bem-estar para a saúde e a conveniência de uma fruta dirigida a uma população educada e consciente de sua saúde.

#### **2.1.4 Característica da fruta e de suas variedades**

A morfologia da fruta, tamanho, cor, época de maturação e a qualidade mudam entre as variedades cultivadas no México, Itália e África do Sul (BRUTSCH, 1984; PIMIENTA, 1990; BARBERA et al., 1992). As espécies taxonômicas mais importantes que produzem frutas comestíveis, tanto em populações cultivadas, quanto em populações selvagens são: *Opuntia ficus indica* (Figura 2.2), *Opuntia albicarpa*, *Opuntia streptacantha*, *Opuntia obustos* e híbridos naturais supostamente entre *Opuntia ficus*, *Opuntia streptacantha*, *Opuntia ficus indica* e *Opuntia robusta* (PIMIENTA, 1984).

O uso da fruta da palma na alimentação humana era comum no México desde o período que antecedeu a colonização espanhola (INGLESE, 2001). Dos planaltos mexicanos a palma migrou para outras regiões, onde está sendo cultivada para produção de frutos. Atualmente, é cultivada nas zonas áridas e semi-áridas do mundo inteiro, em sistemas sustentados com altos rendimentos e baixa demanda de energia (BALDINI et al., 1982, apud CHIACHIO et al., 2006).



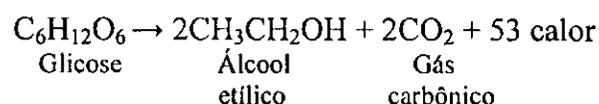
Figura 2.2 – Fruto da palma forrageira (*Opuntia ficus*). Fonte: SCHONFELDER (2007)

A produtividade de frutas é muito variável entre os países produtores, porém é superior a de outras frutíferas cultivadas no semi-árido. (INGLESE, 2001). Vários autores como CANTWELL (2001) mencionam que a produtividade oscila entre 4–10 t/ha a 6–15 t/ha, no México e Chile, respectivamente, 15–25 t/ha em Israel e Itália e 10–30 t/ha na África do Sul. A comercialização dos frutos, geralmente, é feita a granel ou em caixas.

As principais variedades comerciais de palma forrageira são reconhecidas principalmente pela cor da casca e da polpa da fruta e, em alguns casos por sua reação em termos de rendimento e adaptação a estresses ambientais e práticas agronômicas. Os nomes das variedades foram definidos principalmente em função da forma e cor da fruta, juntamente com a morfologia dos cladódios. É importante observar que diferentemente de outras frutas como a maçã, a manga, o pêssego, todos monoespecíficos, a palma forrageira é poliespecífica, porém monogenérica (LAKSHNINARAYANA et al., 1979).

## 2.2 Fermentação alcoólica

No processo de fermentação alcoólica de açúcares, os principais produtos, álcool etílico e gás carbônico, são produzidos em proporções equimolares, conforme a equação de Gay-Lussac. Entretanto a molécula de glicose passa por um processo anaeróbico por doze etapas intermediárias antes de ser transformada em etanol e gás carbônico. Ao lado de etanol e gás carbônico, formam acetaldeídos, glicerol, 2,3 – butileno glicol, ácido láctico, ácido succíneo e ácido cítrico como produto constante da fermentação alcoólica e que contribuem para o sabor e o aroma do vinho (SILVA et al., 1999), conforme a reação abaixo:



Os autores afirmam ainda que a fermentação alcoólica é um processo bioquímico de transformação de açúcares em álcool desencadeada por leveduras. Nesses casos pode-se recorrer a leveduras selecionadas, entre outras. É importante realçar a temperatura de fermentação, pois ao fermentar o mosto libera calor e eleva a sua temperatura influenciando o desenvolvimento da fermentação. As temperaturas mais elevadas inibem as leveduras responsáveis por trabalhar os aromas e propiciam o aparecimento da indesejável acidez volátil pelo que se torna necessário controlá-la o que pode prolongar o tempo de fermentação de um mosto de três a quatro semanas.

A fermentação alcoólica constitui uma das etapas mais importantes para elaboração de vinhos e bebidas fermentadas, podendo ser conduzida com várias leveduras. Mesmo que, em maior ou menor quantidade, possa intervir certo número de espécies e inclusive de gênero de leveduras, o papel principal é desempenhado pela *Saccharomyces cerevisiae* (BARRE et al., 2000). Esta fermentação se desenvolve em condições de parcial anaerobiose (quantidade de oxigênio disponível no meio, no início da fermentação, é inferior a 10 mg/L de oxigênio), sendo que o metabolismo da *Saccharomyces cerevisiae* em tais condições é estritamente fermentativo. (BARRE, et al., 2000) certifica que durante a fermentação alcoólica são produzidos metabólitos fermentativos e biomassa. A produção de biomassa sempre é pequena quando comparada com quantidade de açúcares convertidos em etanol e gás carbônico.

O rendimento da fermentação é uma característica importante na economia da produção no caso da aguardente, afetando diretamente a sua qualidade. Após a fermentação o vinho, cuja concentração alcoólica é de 7 a 8%, é enviado ao alambique e aquecido, emitindo vapores com composição rica em compostos voláteis alcoólicos formando, assim, o teor alcoólico das bebidas (CARDOSO, 2001).

Segundo FAÇANHA (1998) a fermentação pode ser resumida em três fatores:

- 1º) Representa o transporte do substrato para o interior da célula, o qual ocorre por difusão facilitada.
- 2º) Compreende as reações bioquímicas responsáveis pela transformação do substrato em produto.
- 3º) A excreção do produto para o meio.

Em relação ao inóculo sabe-se que maiores concentrações de leveduras permitem fermentações mais rápidas, com maior produtividade e controle contra contaminantes, além

de restringir o crescimento do próprio microrganismo. Mas exigem também maior energia de manutenção, ou seja, maior consumo de substrato para manter as células vivas (LIMA et al. 2001).

### 2.3 Processo de destilação

O processo de destilação foi introduzido, na Europa Ocidental, pelos árabes através do norte da África. Na época, a técnica despertou interesse dos alquimistas e dos monges. O termo destilação corresponde a separação das substâncias voláteis presentes no vinho, inicialmente transformadas em vapor e depois condensadas. A operação é conseguida através do calor, necessário para evaporar, e do frio para condensar. O princípio da destilação da água (100 °C) e do álcool (78,4 °C). A mistura água e álcool apresentam ponto de ebulição variável em função do grau alcoólico. Assim, o ponto de ebulição de uma solução hidroalcoólica é intermediário entre aquele da água e do álcool e será tanto mais próximo deste último quanto maior for o grau alcoólico da solução (RIZZON et al., 2004).

Segundo CARDOSO (2001) a destilação é a operação final na produção de aguardente tendo como produtos finais duas frações líquidas: o destilado rico em etanol água e outros componentes; a vinhaça (também conhecido como o vinhoto) onde é composto por açúcares não fermentados, ácidos graxos, sais minerais entre outros. O vinho com valores de 5-8% de volume de álcool deve produzir aproximadamente de 15-17% do seu volume em aguardente com 38-54% de álcool. A Tabela 2.1 apresenta exatamente a relação entre o teor alcoólico no vinho, ponto de ebulição e teor alcoólico condensado.

Com o aumento do teor alcoólico, diminui o ponto de ebulição, um processo interessante e melhor visto na segunda destilação. Atingindo o teor alcoólico desejado efetua-se o corte da destilação, pois o teor alcoólico do vinho vai diminuindo conforme vai destilando, e a possibilidade de se ter um produto com graduação alcoólica inferior é mínima. E também pode haver alteração tanto na qualidade organoléptica do produto como do aumento indesejado da acidez.

MUTTON & MUTTON (1992) afirmam que por serem na sua maioria feitos de cobre, metal maleável bom condutor de calor e resistente ao desgaste físico a prática da destilação é realizada em alambiques simples de três corpos e em aparelhos contínuos como as colunas de destilação, que apresenta também uma grande influência no sabor e aroma do destilado.

Tabela 2.1 – Teor alcoólico de mistura binária x ponto de ebulição

<b>Etanol na mistura líquida (%v/v)</b>	<b>Ponto de ebulição (°C)</b>	<b>Etanol no vapor condensado (% v/v)</b>
5	95,9	35,8
10	92,6	51,0
20	88,3	66,2
30	85,7	69,3
40	84,1	72,0
50	82,8	75,0
60	81,7	78,2
70	80,8	81,9
80	79,9	86,5
90	79,1	91,8

Fonte: CARDOSO (2001)

De acordo com LIMA (1964) o destilado da aguardente é recolhido em três frações para a retirada de compostos indesejáveis:

**Cabeça:** líquido condensado nos primeiros minutos da destilação, correspondendo a 0,7 a 1,0% do volume total do vinho inicial. Essa fração contém produtos com o metanol, acetaldeído, acetato de etila etc., mais voláteis do que o álcool e grau alcoólico acima de 65 °GL devendo ser desprezada.

**Coração:** o álcool etílico que apresenta ponto de ebulição de 78,5 °C sai em grande quantidade. É a fração que será recolhida até que o teor alcoólico no tanque de recolhimento atinja o valor pré-estabelecido. Em geral 1–1,5 °GL acima do valor pretendido para o engarrafamento. Nesta fração concentram-se 80–90% do etanol contido no vinho. As moléculas das substâncias oleosas, como alcoóis superiores de três a cinco átomos de carbono presentes no vinho tem maior afinidade pelas moléculas de etanol (azeotrópicas) e saem ao longo de toda destilação, com o perfil de concentração semelhante ao do próprio etanol. Esta é a fração, ou seja, a aguardente que será comercializada.

**Cauda:** também chamada água fraca, pelo baixo teor alcoólico, apresenta o maior teor de produtos menos voláteis, como os ácidos acéticos e lácticos, que só evaporam na fase final da destilação. Devido ao seu maior ponto de ebulição, estes estabelecem interações mais fortes com a água do que o etanol, sendo que apenas 1% da acidez volátil do vinho é transferida para a aguardente.

O resíduo remanescente na caldeira do alambique é chamado de vinhoto ou vinhaça e contém compostos sólidos, minerais, açúcares não fermentados, células de leveduras, ácidos não voláteis e maior parte dos ácidos voláteis. A precisão com que são efetuados os cortes tem influência na qualidade final da aguardente (MAIA et al., 1994).

Sabe-se que logo após a destilação a cachaça ou aguardente ainda não está pronta para o consumo, pois apresenta um buquê irregular. Há a necessidade de um período de descanso de dois ou três meses para completar a sua qualidade, sendo guardada em recipientes apropriados em local fresco e protegido, evitando altas temperaturas (CHAVES, 1998).

Os componentes da cachaça classificados como secundários, constitui um grupo de produtos minoritários oriundos do processo de fermentação e destilação. Entre estes, tem-se alcoóis e outros hidrocarbonetos e compostos carbonilados com três ou mais átomos de carbono. Neste caso, especialmente os aldeídos, ésteres, acetaldeído e alcoóis superiores, são responsáveis pelo aroma e sabor do destilado em geral (VALSECHI, 1960).

### **2.3.1 Aldeídos**

Segundo NOVAES et al. (1974), POTTER (1980) e PIGOTT et al. (1989) os aldeídos são compostos muito voláteis, de odor penetrante e afetam os aromas dos destilados e ainda são compostos intermediários da formação dos alcoóis, sendo formados pela descarboxilação de oxo-ácidos, ou então pela oxidação dos respectivos álcoois, como ocorre com o furfural e o hidroximetilfurfural.

A intoxicação por aldeídos pode levar a sérios problemas relacionados com o sistema nervoso central (CARDOSO, 1998).

Outro aldeído importante em bebidas destiladas é a acroleína (2-propenal), formado pela desidratação do glicerol durante a destilação, sua presença em aguardente é indesejável devido ao seu forte odor pungente (GUTIERREZ, 1993).

#### **2.3.1.1 Acetaldeído**

Entre os compostos carbonila, o acetaldeído constitui mais de 90% do total de aldeídos contidos em vinhos e bebidas alcoólicas destiladas (NYKÄNEN, 1986). É formado no decorrer da fermentação alcoólica, sendo um produto do metabolismo primário da fermentação, produzido a partir de aminoácidos presentes no meio fermentativo e pela oxidação do etanol (TORRES NETO et al., 2006). GARRUTI (2001) afirma que alto teor de

acetaldeído é responsável pelo odor de oxidação do vinho de mesa. Pois parte do acetaldeído excretado no vinho durante a fermentação, fica ligado ao SO<sub>2</sub>, enquanto o restante permanece livre e, conseqüentemente, disponível para o metabolismo da levedura (MILLÁN & ORTEGA, 1988).

O acetaldeído é importante para o aroma e sabor de bebidas destiladas, porém, em doses elevadas é prejudicial ao organismo humano. Pois uma quantidade alta de acetaldeído na corrente sanguínea pode apresentar sintomas como vermelhidão na face, dores de cabeça, dificuldade de respiração, vômito, inquietação, aceleração do ritmo cardíaco e pressão baixa (NASCIMENTO et al., 1997).

### 2.3.2 Ésteres

O principal éster encontrado na aguardente é o acetato de etila, obtido pela reação entre pequenas quantidades de etanol e ácido acético, provenientes do processo de fermentação (ROSE & HARRISON, 1970; PIGOTT et al., 1989). Ele é o responsável por um aroma agradável de frutas na aguardente quando presente em pequenas quantidades, mas quando presente em grandes quantidades deixa um sabor enjoativo e indesejado (WINDHOLTZ, 1976).

### 2.3.3 Álcoois superiores

Segundo GALHIANE (1988) os álcoois superiores possuem mais de dois átomos de carbono formados durante o processo oxidativo provenientes em grande parte das transformações dos aminoácidos durante o processo de fermentação.

Os álcoois são responsáveis diretos pelo odor da bebida, possuindo aroma característico, destacando-se os álcoois amílico e propílico assim como seus isômeros. Com o aumento do número de carbonos o aroma modifica-se substancialmente e os álcoois tornam-se oleosos, chegam lembrar um aroma muito forte de flores. A razão do excesso é chamada de óleo fúsel, o qual diminui o valor comercial e a qualidade da aguardente. Assim como o metanol e etanol esses álcoois também apresentam propriedades biológicas, sendo depressoras do sistema nervoso central, mas não provocam acidose nem lesão da retina (MAIA et al., 1994).

### 2.3.4 Cobre

É um dos metais indesejáveis na aguardente. Segundo LÉAUTÉ (2003), um dos principais problemas inerentes a produção de bebidas destiladas tem sido a contaminação pelo cobre presente nos alambiques e aparelhos de destilação. Ainda afirma que 511 laudos foram estudados sobre a qualidade da aguardente de cana produzida, comercializada e, ou, engarrafada no estado de Minas Gerais, o cobre foi o principal contaminante das amostras. A preocupação dos legisladores e de órgãos de fiscalização tem sido constante em todo o mundo para o controle do teor de cobre presente nas bebidas destiladas. O cuidado é para que o consumidor ingira a menor quantidade possível desse metal que não deve ultrapassar 5 mg/L no produto de acordo com o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 1997). Equipamentos limpos durante a destilação reduzem os níveis de contaminação consideravelmente. A ingestão excessiva desse metal nos seres humanos pode causar epilepsia, melanoma e artrite reumatóide, bem como a perda do paladar. Pois a maioria dos aparelhos de destilação utilizados para obtenção de bebidas alcoólicas são construídos de cobre por ser um metal maleável, bom condutor de calor, resistente ao desgaste físico, apresentando grande influência benéfica no sabor e aroma do destilado.

BOZA & HORII (2000) relataram que, em virtude das vantagens e desvantagens do uso de cobre na construção de alambiques vários estudos abordam este tema, mas poucos apresentaram possíveis soluções tecnológicas para reduzir os níveis de contaminação do produto.

### 2.3.5 Bidestilação

Uma maneira do cobre se ajustar aos padrões exigidos pela legislação brasileira é realizar a bidestilação (BRASIL, 1997). Então como o próprio nome diz a bidestilação consiste na realização de duas destilações sucessivas, que pode ser realizada em alambiques intermitentes como em colunas contínuas. Pois é um processo que permite a obtenção de uma aguardente de qualidade superior a qualquer outra obtida através de uma única destilação, pois apresenta seu teor alcoólico fino, uma acidez baixa e conseqüentemente sabor e aroma agradáveis. Esta melhoria se dá através da separação de certas frações indesejáveis, tóxicas como, por exemplo, dos aldeídos, metanol, ácido acético e carbamato de etila (uretana) além de outras prejudiciais a saúde humana. E lembrem que esta prática não é adotada na maioria das destilarias brasileiras e sim aquela de uma única destilação.

## 2.4 Envelhecimento

Sabe-se que geralmente a aguardente logo depois de destilada ainda não está pronta para o consumo. Nesta fase, ela tem um gosto agressivo, amargo e seu buquê é irregular. Há necessidade de um período de dois ou três meses de descanso para completar a sua qualidade sensorial (SILVA et al., 1999).

FARIA et al. (2003) descreveram que através do envelhecimento é possível corrigir possíveis falhas ocorridas nos processos, por melhor que tenha sido a fermentação e por mais apurada que tenha sido a destilação, uma vez que o produto final não envelhecido tem sempre sabor “ardente e seco” nunca é suave, agradável e fino.

Para que o envelhecimento do destilado participe positivamente na qualidade do produto, três fatores são fundamentais: a liberação de compostos agradáveis da madeira, a oxigenação do destilado e o tempo de permanência no barril. Entre os compostos liberados pela madeira, no período de envelhecimento, destacam-se os compostos que atribuem cor ao destilado, além do aroma particular. Estudos mostram que a intensidade de cor e determinados aromas tais como, baunilha, torrefação da madeira estão relacionados com intensidade de aquecimento aplicado na madeira por ocasião da confecção do barril (RIZZON & MENEGUZZO, 2001).

As características desejáveis para madeiras usadas em envelhecimento de aguardentes são: a densidade que varia naturalmente de 0,13 a 1,4 g/cm<sup>3</sup>; a cor é importante na coloração do produto final, o odor também é importante no produto final; o gosto, pois o mesmo está intimamente ligado ao odor, a permeabilidade que está diretamente relacionada a densidade, a resistência mecânica a deformação e ruptura; a durabilidade natural que é a resistência ao ataque de pragas a ação do tempo e a trabalhabilidade que representa o grau de facilidade ou dificuldade em ser processada (CARDOSO, 2001).

Segundo DIAS & NELSON (1998) diferentes tipos de madeiras levam a presença de diferentes compostos fenólicos. No carvalho predominam os ácidos elágico e vanílico, na umburana o ácido vanílico e sinapaldeído, no bálsamo vanilina e ácido elágico, no jequitibá o ácido gálico, no jatobá (*Hymenaea spp*) o coniferaldeído e no ipê os ácidos siríngico vanílico e coniferaldeído.

As principais alterações que ocorrem no destilado de vinho, no envelhecimento em barril de carvalho são as seguintes:

- Redução do volume e do grau alcoólico: o volume de redução do destilado pode variar de 3 a 6% ao ano, em função das condições higroscópicas e da temperatura do local de

envelhecimento. O álcool e a água não evaporam na mesma proporção devido ao grau diferente de volatilidade. Um local para envelhecimento mais úmido, geralmente, é favorável para obtenção de destilados mais finos.

- Aumento de intensidade da cor o destilado se torna mais escuro com o decorrer do tempo no barril, devido aos componentes extraídos da madeira.
- Variação da acidez do destilado: o pH reduz com o envelhecimento por causa da solubilização de ácidos fenólicos da madeira.
- Alteração do aroma do destilado: o aroma mais agressivo do álcool vai se alterando para aromas mais suaves.
- O oxigênio que penetra através dos poros da madeira, participa das reações de óxido-redução, interferindo no aroma e no gosto do destilado envelhecido.

Prazo de envelhecimento: O período de envelhecimento é variável, sujeito a flutuações ocasionadas pela demanda do produto e poder econômico do proprietário do alambique. Segundo à prática vigente em Minas Gerais, o período de envelhecimento varia entre 6 e 18 meses, o que permite dizer que, dentro do conceito de cachaça em Minas, este período é considerado ideal. Contudo, quanto maior o período de envelhecimento maior o valor agregado da bebida. Com lei aprovada em 11 de julho de 2001, o governo estadual regulamenta os padrões de envelhecimento da cachaça, determinando os prazos para cada tipo preconizado (cachaça nova, cachaça envelhecida, cachaça amaciada e reserva especial) (SEBRAE, 2001).

## 2.5 Microbiologia do fermentado

### 2.5.1 Leveduras

Dentre os microrganismos economicamente viáveis destacam-se as leveduras, que são fungos unicelulares, com tamanho médio de 5 a 8  $\mu\text{m}$  de diâmetro (PACHECO & SGARBIERI, 2002), formadas por membrana plasmática, espaço periplasmático e parede celular, a qual é constituída principalmente por polissacarídeos e pequenas quantidades de peptídeos, apresentando uma estrutura semi-rígida e permeável (WARD, 1991).

Na indústria de vinhos e destilados existem linhagens responsáveis pela fermentação de grãos e frutas, assim como na fabricação de pães (FRAZIER & WESTOFF, 1978; MENEZES, 1997); uma vez que as atividades mais antigas dos fungos, com benefícios para a humanidade estão relacionadas à produção de alimentos e bebidas.

Geralmente, leveduras são hábeis para crescer e eficientes na produção de etanol em valores de pH de 3,5–6,0 e temperaturas de 28–35 °C; entretanto, com a taxa inicial de produção de etanol ocorre um aumento da temperatura (aproximadamente 40 °C) o que ocasiona um decréscimo da produtividade global da fermentação cujo decréscimo está associado aos efeitos que a levedura sofre pela formação do produto, uma vez que esta é bastante susceptível a inibições pelo etanol e da temperatura acima de 35 °C (ROEHR, 1996; PACHECO & SGARBIERI, 2002).

O progresso na tecnologia de bebidas levou à necessidade de seleção de linhagens de leveduras com características desejáveis ao processo e produto (RIBEIRO & HORII, 1999).

Segundo LALUCE (1991), HAMMOND (1995), PEREIRA JR. (1999), RIBEIRO & HORII (1999) e SANCHES-PERES et al. (2000) características como alta produtividade, eficiência do processo, tolerância ao etanol, temperatura, resistência a altas concentrações de substrato, habilidade de floculação e de produzir ou não componentes do aroma e propriedade de produzir metabólitos anti-contaminantes, são parâmetros de grande interesse na produção de bebidas.

O gênero *Saccharomyces cerevisiae* constitui o grupo de leveduras de maior importância industrial sendo *Saccharomyces cerevisiae* a mais utilizada na indústria de alimentos.

## 2.6 Estado da arte

Nesse item será abordado trabalhos referentes à fermentação alcoólica na produção de fermentado e produção de aguardente independente das suas fontes de origens.

Segundo FERREIRA (1998) o caju é um fruto que tem sido utilizado para elaboração de bebidas alcoólicas diversas como fermentado, licores, aguardentes etc. O objetivo do trabalho foi avaliar quimicamente o destilado alcoólico (aguardente) de caju através da destilação simples em alambique. O microrganismo utilizado foi a levedura comercial Fermol Blanc (*Saccharomyces cerevisiae* linhagem *bayanus*) a uma temperatura de fermentação de mais ou menos 30°C. Foram ensaiados testes variando o inóculo de 2 e 4 g/L onde verificou as concentrações de cabeça coração e cauda tendo um perfil químico satisfatório, porém os melhores resultados foram os dos destilados obtidos quando o inóculo foi de 2 g/L.

BORTOLINI et al. (2001) estudaram a fermentação alcoólica do suco de kiwi avaliando seis formas de preparação do mosto, variando a quantidade de nutrientes e de sacarose. O processo fermentativo foi conduzido com temperatura de 28 °C, e com inóculo de 10<sup>6</sup> UFC/mL *Saccharomyces cerevisiae*. O rendimento da fermentação alcoólica variou entre 75,6-92,4 e produtividade entre 0,72 a 2,0 g/L.h.

MUNIZ et al. (2002) estudaram a elaboração e caracterização de fermentado de frutas como pinha (*Annona squamosa* L.), ciriguela (*Spondias purpúrea* L.) e mangaba (*Hancornia speciosa* Gom.), utilizando leveduras comerciais. A partir das polpas dos frutos foram formulados mostos com teores de sólidos solúveis de 16 °Brix. Nos quais foram inoculados com leveduras seca estirpe *Saccharomyces cerevisiae var bayanus* e fermentado de 18 a 21 °C. Foram coletados diariamente alíquotas para realização de análise de pH, acidez titulável, teor de sólidos solúveis totais, açúcares totais e teor alcoólico. As bebidas foram avaliadas quanto às características químicas, físico-química e sensoriais. Mangaba e pinha apresentaram tecnicamente viáveis para a elaboração de bebida fermentada em função das características físicas, químicas, físico-químicas e sensoriais do produto final. A bebida fermentada de siriguela não foi bem aceita nos testes de aceitação global e intenção de compra, fato relacionado com o seu processo de fermentação.

SCHWAN et al. (2003) estudaram a elaboração de um processo de fermentação a partir do mosto de polpa de cajá (*Spondias mombin* L.), para a obtenção de uma bebida alcoólica e avaliação de aceitação de mesma. A polpa foi chaptalizada a 24 °Brix com 20 L de mosto e desacidificada com CaCO<sub>3</sub> (carbonato de cálcio), pH de 3,8 para ser submetido ao tratamento enzimático com Ultrazym AFP-L (Novo DK). O agente inibidor foi o SO<sub>2</sub> do

crescimento microbiano e como antioxidante. O mosto foi clarificado com bentonite. E posteriormente inoculado com *Sacchomyces cerevisiae* tipo selvagem na concentração de  $10^7$  células/mL. As frutas foram conduzidas a temperatura de 22 °C durante 10 dias. Foram realizadas análises de etanol, ácidos orgânicos, álcoois superiores, metanol ésteres e acetaldeído. Na bebida observou-se alta concentração de álcoois superiores responsáveis pelo sabor e aroma em bebidas alcoólicas. Sua aceitação foi avaliada por 48 provadores não treinados utilizando uma escala hedônica. Os dados mostraram que o fermentado de cajá foi bem aceito, podendo ser uma nova fonte de investimentos para indústrias ou pequenos produtores.

SILVA (2004) afirma que pela grande quantidade de frutas disponíveis no Brasil as mesmas podem ser utilizadas na elaboração de bebidas fermento-destiladas (aguardente) e a banana se destaca pela alta concentração de açúcares fermentescíveis. O objetivo do trabalho foi testar em micro-escala uma tecnologia simples para produção de aguardente a partir da banana da variedade Pacovan e avaliou a qualidade do produto final. Para isso acontecer foram testadas quatro repetições para produção de aguardente de banana com volumes de aguardentes destiladas que ficaram em torno de 0,98 L resultando em um rendimento de 17 L de destilação por 1000 kg de banana. As aguardentes envasadas passaram por análises de caracterização físico-química e cromatográfica, onde se constatou nas concentrações de aldeídos e álcoois superiores um limite acima do tolerado pela legislação brasileira para aguardentes de frutas. A aguardente de banana quando submetida á análise sensorial obteve um índice de aceitação de 75%.

CLETO & MUTTON (2004) estudaram o rendimento e composição das aguardentes de cana, laranja e uva com a adição de lecitina no processo fermentativo. A metodologia empregada foi a recomendada pelo setor aguardenteiro e as análises químicas dos componentes secundários foram realizadas por cromatografia gasosa e espectrofotometria. Nos resultados finais concluiu-se que com a utilização de lecitina no processo fermentativo diminuiu o rendimento alcoólico, proporcionando um aumento da concentração de glicerol no vinho e do álcool isoamílico nas aguardentes obtidas. As matérias-primas utilizadas (mostos de cana, laranja e uva) influenciaram o rendimento alcoólico e as concentrações dos componentes secundários.

FERREIRA (2005) avaliou a viabilidade técnico e econômica da produção de aguardente de “licor” de laranja compatível com o mercado internacional e com a legislação brasileira cujo processo foi de acordo com técnicas aplicadas na produção da aguardente. O seu processo de produção foi otimizado e foram avaliados os custos operacionais e de

investimentos como também o potencial do mercado de bebidas, com base em dados do Ministério da Indústria e Comércio Exterior (Secretaria de comércio Exterior) relativos à cachaça exportada nos últimos seis anos. A bebida envelhecida em tonéis de madeira no processo de re-destilação apresentou características físicas, químicas e sensoriais compatíveis com as exigências do mercado internacional e com a legislação vigente, ou seja, representa uma opção perfeitamente viável do ponto de vista econômico.

LOPES (2005) estudaram o aproveitamento do figo-da-índia (fruto da palma forrageira) na produção do fermentado da fruta. Onde avaliaram e concluíram que nos fermentados adquiridos tanto da polpa do fruto quanto do fruto integral obtiveram uma concentração de etanol acima de 6°GL, acidez total abaixo de 130meq/L, pH de 3,5 e um sabor delicado e agradável. A média dos parâmetros de (%conversão) foi de 73,29% e produtividade de 2,6 g/h L.

OLIVEIRA (2006) estudou o desenvolvimento de processos tecnológicos para obtenção de bebidas alcoólicas fermentadas a partir de frutos da biodiversidade amazônica, utilizando leveduras livres e imobilizadas. As fermentações foram conduzidas em bateladas simples por 48 h a 20 °C com células de leveduras livres e imobilizadas em alginato de cálcio. A cada quatro horas verificava-se a acidez total, açúcares redutores totais (ART), sólidos solúveis (°Brix) e etanol. Ao final de toda a pesquisa concluiu-se que as bebidas obtidas apresentaram sabor e aroma agradáveis, característicos do fruto, e maior limpidez das bebidas procedentes de processos com células imobilizadas, com aceitabilidade média de 61% para os processos com célula livre e 72% para imobilizadas.

ALMEIDA et al. (2006) realizaram o estudo cinético da fermentação alcoólica na produção do fermentado de fruto de mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC). O fermentado foi produzido em reator batelada (duplicata) na temperatura de  $30 \pm 2$  °C. Os parâmetros cinéticos de rendimento, produtividade e  $Y_{p/s}$  foram: 0,461, 90,2% e 1,75 g/L h respectivamente. Os resultados das análises físico-químicas: açúcar residual, acidez total em °GL (% v/v) e pH do fermentado mostraram que os seus resultados estão de acordo com a legislação vigente a cerca de fermentado de frutas.

TORRES NETO et al. (2006) estudaram o aproveitamento do pedúnculo do caju para produção do fermentado do caju. Onde foi realizado o processo de fermentação alcoólica com agitação, utilizando uma levedura comercial *Saccharomyces cerevisiae*. O fermentado do caju produzido apresentou um grau alcoólico de 11,5 °GL atendendo assim as normas vigentes pela legislação brasileira.

SILVA & ASQUIERI (2006) estudaram a produção de aguardente de jabuticaba e verificaram a sua qualidade mediante análises físico-químicas e a adequação aos padrões legais existentes na legislação brasileira. Como não foram encontrados valores que correspondam à aguardente de jabuticaba, estes foram comparados aos da aguardente de cana. Foram realizadas análises de pH, açúcares redutores totais, sacarose, teor alcoólico, acidez total, fixa e volátil e feita análise cromatográfica da aguardente. Onde se pôde perceber valores de ésteres (357 mg/100 mL) pouco acima ao estipulado pela legislação (200 mg/100 mL). Fato possivelmente atribuído a uma falha no primeiro recolhimento (cabeça) onde encontra altas concentrações de acetato de etila, também pode ter influenciado o tipo de destilação praticada ou a presença de células de leveduras nos vinhos durante a destilação. A aguardente de jabuticaba é uma alternativa a mais para produtores rurais que lidam com a jabuticaba mostrando que a fruta pode ser melhor aproveitada durante a safra.

NUNES et al. (2007) estudaram a cinética de destilação do fermentado do abacaxi utilizando 13,5 L a uma graduação alcoólica de 9,6 °GL, em que se obteve 2,4 L de aguardente a 43 °GL estando assim dentro dos valores permitidos pela legislação brasileira (BRASIL, 2005), com um rendimento de 96,7%.

A Serra Gaúcha, no Rio Grande do Sul, é a região vitivinícola mais importante do Brasil, além do clima que permite a obtenção de uvas com elevado teor de acidez, a estrutura agroindustrial existente também é favorável para a produção de destilado do vinho. A uva produzida é utilizada, principalmente, para elaboração de vinho de mesa tinto e branco. As principais cultivares utilizadas na elaboração de vinho para destilar na Serra Gaúcha são: Trebbiano, Gerbemont, Codex 13 e Isabel. A produção de destilado de qualidade requer a elaboração de vinho especialmente para destilar. Geralmente, na Serra Gaúcha, os destilados de vinho são obtidos a partir de vinhos com defeitos e que, por isso, não são comercializados como vinhos de mesa. Como os vinhos a destilar são elaborados pelo processo de vinificação em branco, ou seja, sem a clarificação do mosto e sem a utilização de dióxido de enxofre, o álcool e a acidez funcionam como conservadores para o vinho até o momento da destilação. Por isso os vinhos na destilação apresentam acidez total elevada. O teor de grau alcoólico compreendido entre 7,0 e 10,5 °GL é o ideal para vinhos para destilar (RIZZON & MENEGUZZO, 2007).

## CAPÍTULO III

### 2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas (UAEA/CTRN) em conjunto com o Laboratório de Engenharia Bioquímica (UAEQ/CCT) ambos pertencentes à Universidade Federal de Campina Grande, Campus I.

#### 3.1 Matéria-prima

Os frutos de figo-da-índia (*Opuntia ficus-indica* Mill) utilizados neste trabalho foram adquiridos nas plantações da Fazenda São João localizada no município de Boqueirão, PB, a 180 Km de João Pessoa, PB.

#### 3.2 Microrganismo

O microrganismo utilizado foi a *Saccharomyces cerevisiae* utilizada de uma linhagem de levedura isolada por ALVES (2008). E também a levedura comercial de panificação da marca Fleischamnn, 70% de umidade adquirida no comércio de Campina Grande, PB.

#### 3.3 Metodologias

##### 3.3.1 Caracterização físico-química dos frutos utilizados na produção do fermentado do figo-da-índia

A Figura 3.1 apresenta as etapas dos experimentos realizados na elaboração da bebida fermentada e da destilada respectivamente.

##### 3.3.1.1 Recepção e seleção

Os frutos foram coletados e levados para o Laboratório de Engenharia Bioquímica, nos quais foram selecionados no ato do recebimento onde foram retirados os mais

deteriorados, ou seja, os mais maduros ou muito verdes. É uma etapa importante, pois assegura uma boa fermentação ao final do processo garantindo uma boa qualidade do fermentado

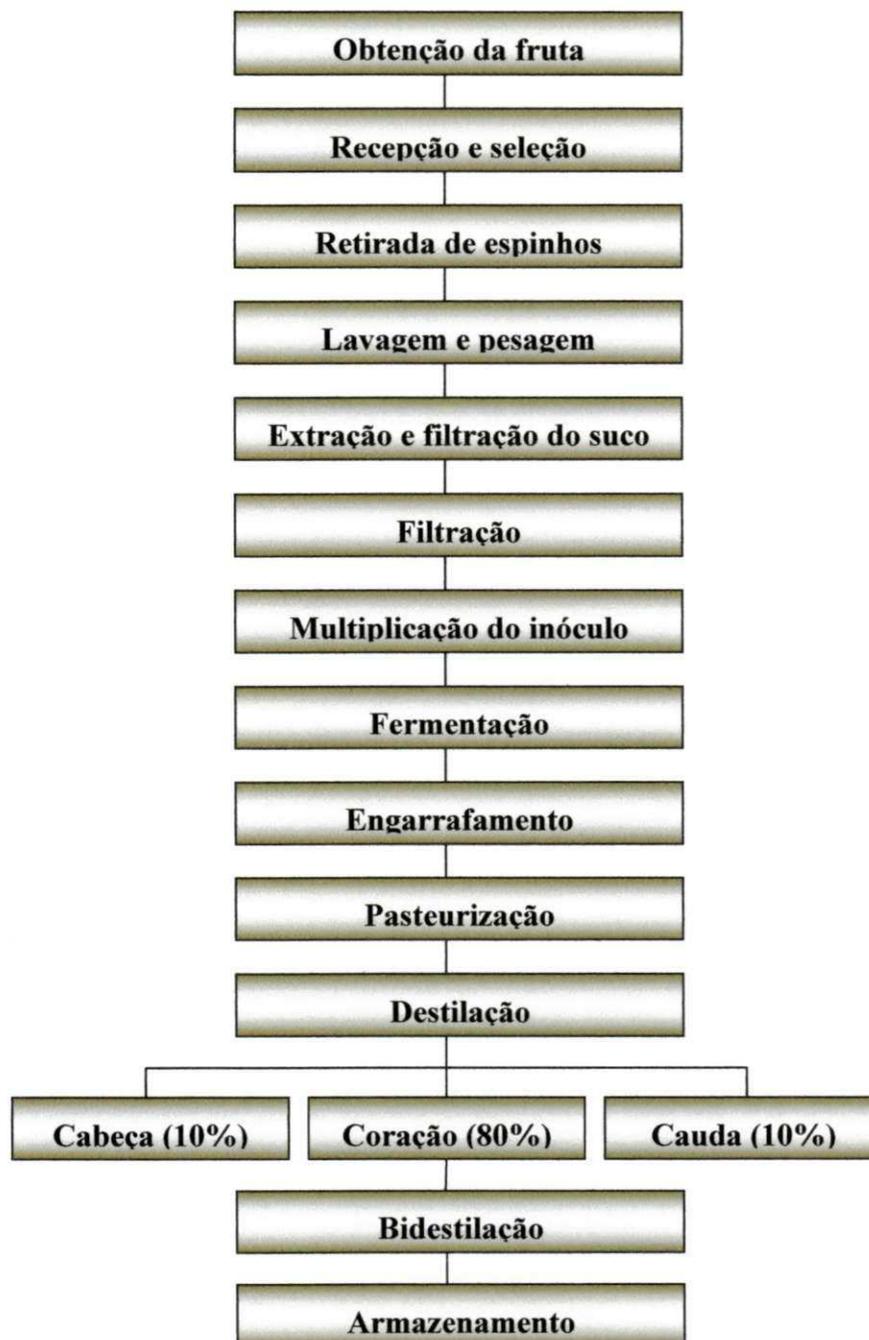


Figura 3.1 - Etapas dos experimentos realizadas na elaboração da bebida fermentada e destilada respectivamente

### 3.3.1.2 Lavagens e pesagens

As lavagens foram realizadas com solução de hipoclorito de sódio (2,0 a 2,5% m/m de cloro ativo) com o objetivo de eliminar os microrganismos ou sujeiras grosseiras presentes no fruto. Os frutos foram imersos na solução por 20 min. Posteriormente realizou-se uma nova imersão com água corrente para retirada de sujeiras finas e para retirar resíduos da solução.

As determinações físicas foram realizadas com 30 unidades, medindo o comprimento e a largura de cada fruto com a utilização de um paquímetro digital da marca Mitutoyo.

#### 3.2.1.2.1 Rendimento em relação ao fruto

Os frutos integrais do figo-da-índia foram pesados com o objetivo de verificar o rendimento da produção. Com a utilização de uma balança eletrônica (Lucastec) modelo PL-100 carga máxima de 25 Kg e mínima de 125 g.

Os percentuais de rendimentos da massa, volume e resíduo da polpa do fruto figo-da-índia representam a quantidade destes com relação ao fruto integral e calculados pelas Eqs. 1, 2 e 3, respectivamente.

$$R_{PFI} = \frac{M_{polpa}}{M_{fruto\ integral}} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

$R_{PFI}$  - Rendimento da polpa do fruto integral, %

$M_{polpa}$  - Massa da polpa do fruto integral, g

$M_{fruto\ integral}$  - Massa total do fruto integral, g

$$R_{VPFI} = \frac{V_{polpa}}{M_{fruto\ integral}} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

$R_{VPFI}$  - Rendimento do volume da polpa do fruto integral, %

$V_{polpa}$  - Volume da polpa do fruto integral, g

$M_{fruto\ integral}$  - Massa total dos frutos integral, g

$$R_{RP} = \frac{M_{residuo}}{M_{fruto\ integral}} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

$R_{RP}$  - Rendimento do resíduo, %

$M_{resíduo}$  - Massa do resíduo, g

$M_{fruto\ integral}$  - Massa total do fruto integral, g

O percentual de rendimento do volume do fermentado fruto do figo-da-índia representa o quanto de volume aproximado de fermentado é obtido a partir da polpa integral. De acordo com a Eq. 4.

$$R_{VF} = \frac{V_{Fermentado}}{V_{polpa}} \times 100 \quad (4)$$

Em que:

$R_{VF}$  - rendimento do volume do fermentado, %

$V_{Fermentado}$  - volume do fermentado, L

$V_{polpa}$  - volume da polpa do fruto integral, L

### 3.3.1.3 Extração e filtração da polpa do fruto

Os frutos foram cortados integralmente em fatias e colocados em um liquidificador doméstico (Mallory). Em seguida medidos volumetricamente e colocados em embalagens plásticas de 2,5 L. Fez-se a etiquetagem e a armazenagem em freezer para o posterior congelamento devido à perecibilidade do produto, pois, baixas temperaturas mantêm a um nível mínimo a respiração e a perda da água desses produtos. A filtração foi realizada através de tecidos de algodão, onde os tecidos foram esterilizados em estufa de cultura modelo 002CB (Fanem Ltda) objetivando melhorar o aspecto do suco da polpa visto que foi triturado o fruto integral para a obtenção de um fermentado e posterior destilado de qualidade.

#### 3.3.1.3.1 Caracterização físico-química da polpa do fruto

Na caracterização físico-química do suco do figo-da-índia foram realizadas as análises de açúcares redutores totais (ART), sólidos solúveis totais (°Brix), acidez total titulável (ATT), acidez fixa (AF), acidez volátil (AV) e pH.

### 3.2.1.3.1.1 Açúcares redutores totais (ART)

O método para obtenção de ART baseia-se na redução do DNS (ácido 3,5 dinitro salicílico) a ácido 3-amino-5-nitrosalicílico ao mesmo tempo com a oxidação do grupo aldeído do açúcar a grupo carboxílico. Com o aquecimento a solução torna-se alaranjada, onde é lida através do equipamento espectrofotômetro (Figura 3.2), a 540 nm. Na determinação de ART (frutose, glicose e sacarose) foi necessário fazer inicialmente a inversão da sacarose da amostra diluída, e em seguida utilizar o método do DNS (MILLER, 1959).

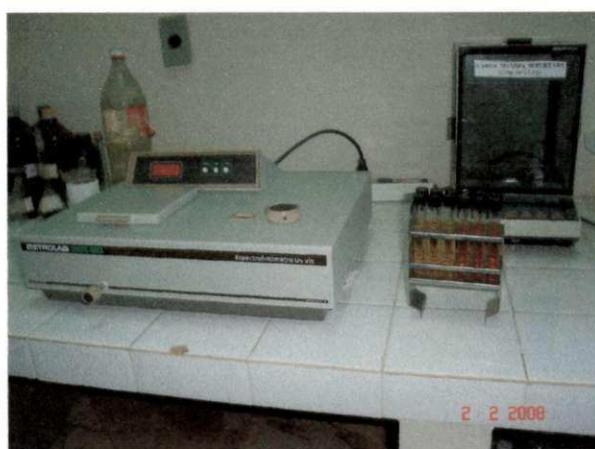


Figura 3.3 – Espectrofotômetro utilizado na leitura da absorbância para determinação dos açúcares redutores totais (ART). Fonte: Foto de A. S. ROCHA

$$ART = Abs \times F \times V_{diluição} \times 5 \quad (5)$$

Em que:

*ART* - teor de açúcares redutores totais

*Abs* - absorbância

*F* - fator da solução (2,135)

*V<sub>diluição</sub>* - volume da diluição da amostra

5 - Soma das resultantes das soluções de 1 mL HCl 2N, 3 mL de NaOH 1N e 1 mL da amostra.

### 3.3.1.3.1.2 Sólidos solúveis totais (°Brix)

A leitura foi realizada através do equipamento chamado refratômetro (BRASIL, 2005).



Figura 3.3 – Refratômetro (utilizado para a determinação dos sólidos solúveis totais (°Brix).  
Fonte: Foto de A. S. ROCHA

#### 3.3.1.3.1.3 Acidez total, fixa e volátil

As concentrações de acidez total, acidez fixa foram determinadas pelo método de titulação volumétrica seguindo a metodologia proposta por BRASIL (2005). A acidez volátil foi obtida pela diferença entre a acidez total e a acidez fixa.

#### 3.3.1.3.1.4 pH

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, com um pHmetro digital da marca TECNAL modelo: TEC-2 (Figura 3.4) inicialmente calibrado com as soluções tampões de pH 4,0 e pH 7,0.



Figura 3.4 – pHmetro digital (TECNAL modelo: TEC-2). Fonte: Foto de A. S. ROCHA

### 3.3.1.4 Multiplicação do inóculo

As etapas de multiplicação da levedura selecionada do extrato de algaroba (ALVES, 2008) foram realizadas durante quatro dias utilizando como meio de cultivo o caldo de cana adquirido no comércio de Campina Grande, PB.

Durante todos os dias da multiplicação do inóculo o meio foi deixado de um dia para o outro sempre em temperatura ambiente.

1º dia: Em um erlenmeyer de 250 mL foram adicionados 100 mL do caldo de cana a 5 °Brix previamente esterilizado em autoclave a uma temperatura de 121 °C durante 30 min. Em seguida com o auxílio de uma alça de platina estéril e em presença da chama de uma lamparina a álcool transferiu-se a levedura selecionada que estava em um tubo de ensaio guardado sobre refrigeração para o meio (caldo de cana) já resfriado onde posteriormente foi deixado por 24 h.

2º dia: Com a ausência do caldo de cana foi preparado 300 mL de uma solução de sacarose estéril com concentração de 8 °Brix para ser adicionado no meio, utilizou-se na preparação da solução nutrientes como sulfato de amônia e fosfato de potássio na proporção de 0,6 e 0,2 g respectivamente onde passou mais 24 h.

3º dia: Preparou-se um volume de 700 mL de caldo de cana estéril corrigido para 10°Brix. Alimentou o meio novamente com o caldo e permaneceu 24 h.

4º dia: No último dia foi adicionado o volume do caldo estéril no meio para 2000 mL com uma concentração de 10 °Brix por mais 24 h finalizando a etapa da multiplicação .

#### 3.3.1.4.1 Utilização da levedura comercial

No processo da levedura comercial foi utilizado o microrganismo *Saccharomyces cerevisiae* da marca Fleischmann, 70% de umidade com concentração de 10g/L (base úmida).

#### 3.3.1.4.1.2 Clarificação

A clarificação foi realizada utilizando-se de uma solução de gelatina a 10% (comercial, incolor e inodora, Royal), numa proporção de 3 mL por litro de suco, adicionando-a ao suco homogeneizando-a, deixando em seguida o mosto por 24 h na geladeira para promover uma melhor floculação da gelatina com a pectina. Em seguida, foi realizada uma filtragem através de tecidos de algodão esterilizados em estufa.

Na clarificação se remove a pectina que é um polissacarídeo encontrado em níveis mais elevado em frutas de origem tropical. Uma grande quantidade de pectina pode ocasionar a presença do metanol que é uma substância altamente tóxica.

#### **3.3.1.4.1.2 Sulfitação**

A sulfitação foi realizada com a finalidade de desinfetar o suco, prevenindo a ocorrência de situações indesejáveis durante a fermentação. O uso de agentes antioxidantes é frequentemente utilizado para evitar reações oxidativas como, degradação de vitaminas, degradação de carotenóides, reações de escurecimento com compostos fenólicos e proliferação de microrganismos (BORESNTEIN, 1987).

O metabissulfito de potássio ( $K_2S_2O_5$ ) (Vetec Química Fina Ltda, P.A.), foi adicionado ao mosto numa concentração de 3 g para cada 10 L de suco clarificado.

#### **3.3.1.4.1.3 Adição de fonte de nitrogênio e fósforo (N e P)**

A adição de nutrientes, fósforo e nitrogênio foi realizada visando suplementar, satisfatoriamente, as necessidades do microrganismo. Esses dois nutrientes foram adicionados ao suco nas formas de fosfato de potássio ( $KH_2PO_4$ ) (Vetec Química Fina Ltda, P.A.), e sulfato de amônio [ $(NH_4)_2SO_4$ ] (Vetec Química Fina Ltda, P. A. ) nas concentrações de 0,6 e 0,2 g para cada litro de suco, respectivamente.

#### **3.3.1.4.1.4 Chaptalização**

A chaptalização é a etapa do processo em que se adiciona a sacarose ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ), açúcar comercial, ao mosto para se obter um produto com a graduação alcoólica dentro das especificações da legislação brasileira (BRASIL, 1997). A chaptalização geralmente é realizada quando a fruta não tem quantidade suficiente de açúcares.

#### **3.3.1.5 Fermentação**

Terminada a preparação do mosto foi inoculado o agente fermentativo para a realização do processo de fermentação alcoólica para posterior destilação (produção de aguardente), dando início a fermentação dos açúcares fermentescíveis contidos no meio os

parâmetros cinéticos das variáveis envolvidas e sua influência nas velocidades das reações de rendimento e produtividade no processo. Visando posteriormente uma boa qualidade na produção de aguardente.

A produção da bebida foi realizada em biorreatores de polietileno, em sistemas de batelada simples, com capacidade de 10 L. O volume do mosto na levedura comercial a fermentar foi de 11,4 L e na levedura selecionada de algaroba foi de 16,700 mL com uma temperatura de 30 °C. O processo fermentativo foi realizado seguindo as metodologias utilizadas para os processos tradicionais da aguardente de cana-de-açúcar e frutos exóticos com pequenas adaptações devido às características próprias do figo-da-índia.

A primeira fase da fermentação alcoólica foi iniciada quando a levedura foi inoculada ao mosto previamente ajustado as condições ótimas para o seu desenvolvimento. No caso da levedura selecionada de algaroba a cada 2 h eram retiradas amostras para a realização das análises de concentração de açúcares redutores totais (ART), temperatura, pH, teor alcoólico, acidez total, acidez volátil e °Brix.

Na levedura *Saccharomyces cerevisiae*, fermento biológico comercial não houve o estudo da cinética na fermentação assim como em trabalhos anteriores como o de SCHWAN et al. (2003), MAEDA & ANDRADE (2003) e SANTOS et al. (2005).

As fermentações foram realizadas em duplicatas para observar a reprodutibilidade dos dados.

### **3.3.1.6 Engarrafamento**

O engarrafamento foi realizado em garrafas de vidro de cor verde escuro, vedadas com bastante fita adesiva para evitar o vazamento e a entrada de oxigênio, no processo seguinte da pasteurização.

### **3.2.1.7 Pasteurização**

A pasteurização visa à eliminação de microrganismos indesejáveis através do choque Térmico. A mesma ocorreu durante 30 min, e a água estava previamente aquecida a uma temperatura de 65 °C. Em seguida foi feito o choque térmico com água corrente diretamente nas garrafas de cor verde escuro apropriadas para vinho e mantidas ao abrigo da luz. O equipamento era um pasteurizador em aço inoxidável provido de serpentina de aquecimento elétrico (18 BU, B. Braun Biotech International, variação de 0 a 140 °C).

### 3.3.2 Análises físico-químicas do processo de fermentação alcoólica

Durante a fermentação alcoólica da bebida fermentada do fruto figo-da-índia, foram realizadas a cada 2 horas análises descritas no item 3.3.1.3.1 mais a análise de concentração de etanol (°GL).

#### 3.3.2.1 Concentração de etanol (teor alcoólico)

A concentração do teor alcoólico foi realizada pelo método da ebulliometria que é a ciência que utiliza a medida do ponto de ebulição. Para a realização da concentração de etanol no fermentado foi utilizado um equipamento chamado ebuliômetro o qual é composto por uma caldeira, um condensador, um termômetro, uma lamparina a álcool e uma régua de conversão.

Com 50 mL da amostra a qual é colocada na caldeira e água fria no condensador que é por onde sai os vapores condensados do líquido acoplado junto à caldeira foi aquecida a amostra com lamparina a álcool observando-se a temperatura de ebulição no termômetro também acoplado à caldeira até a mesma se estabilizar por um tempo de aproximadamente cinco minutos, pois, é no ponto estático da temperatura que vai servir de referência para o valor da concentração de etanol.

#### 3.4.2.2 Percentual de conversão, produtividade e parâmetros cinéticos fermentação alcoólica

O percentual de conversão e a produtividade (g/L h) para produção da bebida fermentada do figo-da-índia foram calculados através das Eqs. 6 e 7, respectivamente.

$$\text{Conversão}(\%) = \frac{P}{S_0 - S} \times 100 \quad (6)$$

$$\text{Produtividade}(g / L.h) = \frac{P}{t} \quad (7)$$

Em que:

P – concentração de etanol experimental

S<sub>0</sub> – concentração inicial do substrato

t – tempo de fermentação, h

S – concentração do substrato

Através da Equação 8, foi calculado o parâmetro cinético Y<sub>p/s</sub>

$$Y_{P/S} = \frac{P - P_0}{S_0 - S} \quad (8)$$

Em que:

S - concentração final de substrato, g/L

S<sub>0</sub> - concentração inicial de substrato, g/L

P - concentração final de produto, g/L

P<sub>0</sub> - concentração inicial de produto, g/L

Y<sub>p/s</sub> (rendimento do produto) - quantidade de produto formado em relação à quantidade de substrato limitante consumido

### 3.5.2.3 Centrifugação do fermentado

O fermentado foi centrifugado em centrífuga da marca excelsa II modelo 206 BL (Figura 3.5) com velocidade de 3000 RPM (rotação por minuto) e colocado em cubetas de 100 mL totalizando 400 mL para cada 20 min de centrifugação com o objetivo da separação dos sólidos em suspensão no meio.



Figura 3.5 – Centrífuga (Excelsa II modelo 206 BL). Fonte: Foto de A. S. ROCHA

### 3.3.3 Produção da bebida destilada do fruto do figo-da-índia

Primeiramente foi medido o volume do fermentado a ser destilado e analisou-se a concentração inicial de etanol. A destilação foi realizada em um alambique de cobre (Figura 3.6) de 20 L úteis chapa 18, rebatido, polido e envernizado, blindado em solda de cobre e solda neutra, coluna modelo deflegmador, termômetro, flanges, tampão em bronze e uma serpentina de resfriamento em cobre adaptada em uma caixa de cobre polida e rebatida. O seu aquecimento foi feito por chama direta, no qual, inicialmente, abriu-se a entrada de vinho no alambique até que o fermentado oriundo do reator fosse transferido para o alambique por gravidade ocupando aproximadamente 2/3 da sua capacidade total, em seguida o ebulidoro foi fechado, aquecido moderadamente por chama direta através de um queimador semi-industrial a gás butano, dando início ao processo de destilação.



Figura 3.6 – Alambique de cobre utilizado na destilação da aguardente do figo-da-índia. Fonte: Foto de A. S. ROCHA

A condução operacional do processo de destilação foi basicamente desenvolvida controlando-se o nível da carga de produto a ser destilado no alambique, a temperatura de ebulição do álcool e a pressão da base do taxa. A partir daí os vapores hidroalcoólicos começaram a ascender através do capitel do alambique, indo até o sistema de condensação. Esses vapores ao chegarem até o condensador da serpentina foram resfriados até atingir a temperatura média de 25 °C, sendo coletado o destilado com separação das frações cabeça, coração e cauda.

### **3.3.3.1 Bidestilação**

Na primeira etapa da destilação percebeu-se uma concentração de teor alcoólico abaixo das especificações descritas pela legislação brasileira e também uma cor azulada saindo do alambique provavelmente pela alta concentração de cobre que é um dos fatores que mais desqualifica a bebida.

Uma maneira de melhorar a qualidade da aguardente e o teor de cobre contido nela foi realizar uma bidestilação com o intuito de ajustar a bebida aos padrões exigidos pela legislação, para isso diluiu-se a fração coração que é a parte utilizada como aguardente com uma quantidade de água potável e destilou-se normalmente observando a intensidade do fogo e a vazão da destilação.

### **3.3.3.2 Caracterização físico-química do destilado do fruto do figo-da-índia**

As análises de caracterização do destilado do fruto figo-da-índia seguiram a mesma metodologia das caracterizações descritas nos itens 3.3.1.3.1 e 3.3.2. Foram realizadas também análise de cromatografia do destilado descrita a seguir.

#### **3.2.3.2.1 Análises cromatográficas da bebida destilada**

A bebida destilada foi analisada para determinar a concentração de alcoóis superiores e voláteis e confrontá-los com a legislação brasileira (BRASIL, 1999). O equipamento utilizado foi um cromatógrafo gasoso da marca Varian CP-3380 com um padrão adquirido no ITEP (Instituto Tecnológico de Pernambuco), com concentrações de: aldeídos de etila (4,96 mg/100mL), metanol (2,73 mg/100mL), n-propanol (6,03 mg/100mL), isobutanol (4,42 mg/100mL), nbutanol (3,16 mg/100mL) e isoamílico (3,20 mg/100mL). O cromatógrafo estava equipado com uma coluna capilar de fundo oco CP - Wax 57CB, nas seguintes condições operacionais: Temperatura de 180, 250 e 6-120 °C para injetar, detector e coluna, respectivamente. Utilizou hidrogênio como gás de arraste, com velocidade de 20 mL/40. As análises foram realizadas no Laboratório da destilaria Gramame Industrial Agrícola GIASA S.A/PB localizada a 60 km do Porto de Cabedêlo, PB.

### 3.2.4 Armazenamento (descanso)

A aguardente recém destilada de coloração branca apresenta um paladar agressivo e levemente amargo. Portanto houve um descanso em barril de madeira umburana (*Amburama cearensis*) (Figura 3.7) por um período de cinco meses.



Figura 3.7 – Barril de madeira umburana (*Amburama cearensis*). Fonte: Foto de A. S. ROCHA

#### 3.2.4.1 Caracterização físico-química da bebida descansada do fruto do figo-da-índia

As análises de caracterização da bebida descansada do fruto do figo-da-índia seguiram a mesma metodologia das caracterizações descritas nos itens 3.2.1.3.1 .

#### 3.4.4.1 Cálculo da redução do volume e do grau alcoólico da aguardente armazenado

$$\% \text{ Perdas} = V_i - V_f \times 100$$

Em que:

%Perdas – Percentual de perdas

$V_i$  – Volume inicial

$V_f$  – Volume final

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.1 Caracterização física e físico-química dos frutos utilizados na produção do fermentado do figo-da-índia

A caracterização física e os valores referentes às pesagens e rendimentos (polpa, volume da polpa, resíduo e volume do fermentado) do fruto são apresentados nas Tabelas 4.1 e 4.2.

Tabela 4.1 – Caracterização física do fruto figo-da-índia

Parâmetros	Média ± erro padrão médio
Diâmetro maior (cm)	8,20 ± 0,55
Diâmetro menor (cm)	4,97 ± 0,36

Pode-se observar na Tabela 4.1 que o valor do diâmetro menor dos frutos utilizados neste trabalho é inferior ao valor encontrado por LEUENBERGER (1991) de 5-10 cm e o valor do diâmetro maior semelhante de 8-10 cm. De acordo com CANUTO (2006) o valor médio dos diâmetros (maior e menor) assemelhou-se com 8,34 e 4,81 respectivamente. O mesmo autor afirma ainda que havendo variação no que diz respeito ao tamanho dos frutos são decorrentes principalmente pelo fato dos locais de cultivo apresentar condições climáticas diferenciadas. De acordo com CHITARRA & CHITARRA (1990) os frutos de maior tamanho e massa são mais apreciados para o consumo in natura, pois os consumidores dão preferência à aparência do fruto.

O rendimento de polpa ( $R_p$ ), volume ( $R_v$ ), resíduo ( $R_R$ ) dos frutos oriundos do município de Boqueirão, PB, e o rendimento do volume do fermentado ( $R_{vF}$ ), encontram-se na Tabela 4.2.

LOPES (2005) estudou o processo de produção do fermentado do figo-da-índia, obtendo rendimento de polpa de 48%, valor inferior ao encontrado neste trabalho (89,32%). ALMEIDA et al. (2006) trabalhando com o fruto do mandacaru, espécie de cactácea encontrada no Cariri Paraibano encontrou um rendimento de polpa de 38,70 %. O rendimento

de polpa do fruto da mangaba foi de 87% (BORGES et al., 2000; MOURA et al., 2000; MOURA et al., 2001) e o da banana 62,47% (ARRUDA et al., 2003) valores mais próximos ao deste trabalho.

Tabela 4.2 – Dados referentes às pesagens e rendimentos dos frutos figo-da-índia utilizados na produção de bebida fermentada

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
Massa total dos frutos integrais (g)	78.040,00
Massa total da polpa (g)	69.705,00
Massa total do resíduo (g)	9.945,00
Massa total da polpa (g)	56.750,00
Massa total do fermentado (g)	28.400,00
Rendimento de polpa (%R <sub>PFI</sub> )	89,32
Rendimento do volume da polpa (%R <sub>VPFI</sub> )	72,72
Rendimento do resíduo (%R <sub>RP</sub> )	12,74
Rendimento do volume do fermentado (%R <sub>VF</sub> )	50,04

Com relação ao rendimento de volume do fermentado (%R<sub>vf</sub>) observa-se que o valor encontrado (50,04%) está bem próximo aos encontrados por LOPES (2005) que obteve para o fermentado de figo-da-índia um rendimento de 50,5%. Para o fermentado da banana o rendimento foi de 59 % um pouco acima do valor adquirido neste trabalho, mas comparável.

A Tabela 4.3 apresenta a caracterização físico-química da polpa do fruto da palma forrageira.

Tabela 4.3 – Caracterização físico-química da polpa do fruto

<b>Parâmetros analisados</b>	<b>Média e desvio padrão</b>
Açúcares redutores totais (g/L)	8,23 ± 0,00
Sólidos solúveis totais (°Brix)	10,00 ± 0,00
ATT (%)	0,29± 0,01
Acidez fixa (g/100mL)	0,02 ± 0,01
Acidez volátil (g/100mL)	0,27± 0,01
pH	4,46 ± 0,03

FIGUEIRÊDO et al. (2001) MATSUURA et al. (2001) NOGUEIRA (1991) trabalhando com o fruto da acerola, obtiveram valores de acidez total 1,07, 0,89 e 1,24% respectivamente. SILVA et al. (1999) obtiveram para a polpa de cajá 1,32%, comparáveis ao deste trabalho que foi de 0,29. Com relação ao pH, os referidos autores encontraram valores

dentro da faixa 3,50, 3,30, 3,32, 3,08 e 3,98 respectivamente, assim como ao encontrado neste estudo que foi de 4,46.

O valor de SST expressos em °Brix encontrado no fruto figo-da-índia neste trabalho (10 °Brix) foi comparável com outros frutos como cajá (12,3°Brix), mandacaru (11 °Brix) e banana (16 °Brix) conforme SCHWAN et al. (2003), ALMEIDA et al. (2006) e ARRUDA et al. (2003), respectivamente.

## 4.2 Estudo da fermentação alcoólica para produção do fermentado do figo-da-índia

### 4.2.1 Cinética da fermentação alcoólica usando o inóculo levedura selecionada

O comportamento do substrato (ART) e concentração de etanol (produto) durante a fermentação alcoólica pode ser observado nas Figuras 4.1 e 4.2.

Com o intuito de obter uma boa reprodutibilidade dos dados todos os experimentos foram realizados em duplicata para realização da fermentação alcoólica para produção de bebida fermentada utilizando a levedura da linhagem *Saccharomyces cerevisiae* selecionada do extrato da algaroba (ALVES, 2008). Os gráficos com o comportamento cinético médio do substrato e produto são mostrados nas Figuras 4.3 e 4.4.

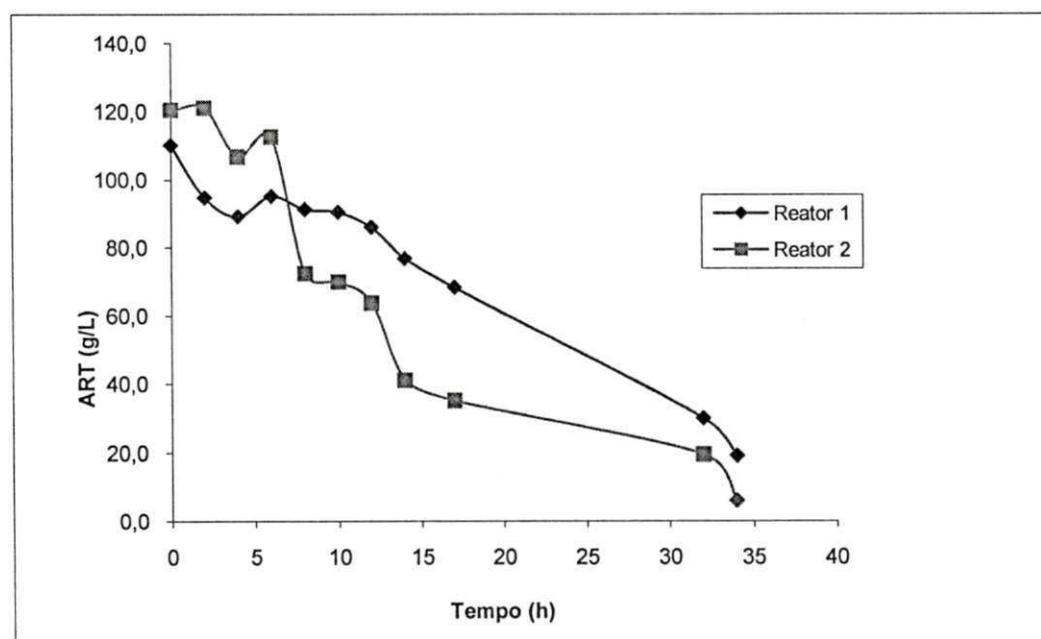


Figura 4.1 – Comportamento do substrato (ART) durante a fermentação alcoólica

Pode-se observar na Figura 4.1 que nas primeiras cinco horas há um pequeno decaimento do substrato (ART). Após este tempo, verifica-se um consumo acentuado do substrato atingindo um teor médio de 12 g/L com 34 h de fermentação, com variações mais acentuadas entre seis e oito horas no reator 2. Verifica-se que o perfil é relativamente reprodutível, mas há uma variação ao longo do tempo dos valores de ART.

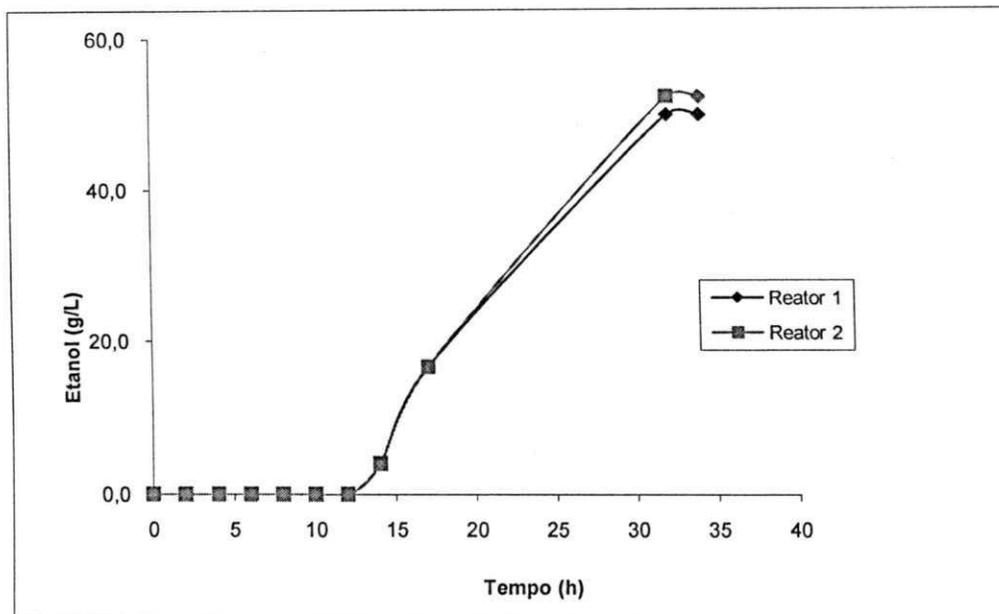


Figura 4.2 – Curva de produção de etanol durante a fermentação alcoólica

Na Figura 4.2 observa-se que só a partir de 12 h de fermentação deu-se início a produção de etanol. Verifica-se ainda que, todo substrato consumido anteriormente foi utilizado para realização de suas funções metabólicas. O processo de formação dos produtos estabilizou-se quando a concentração de etanol atingiu 50,92 g/L que corresponde a uma graduação alcoólica de 6,4 °GL (% v/v).

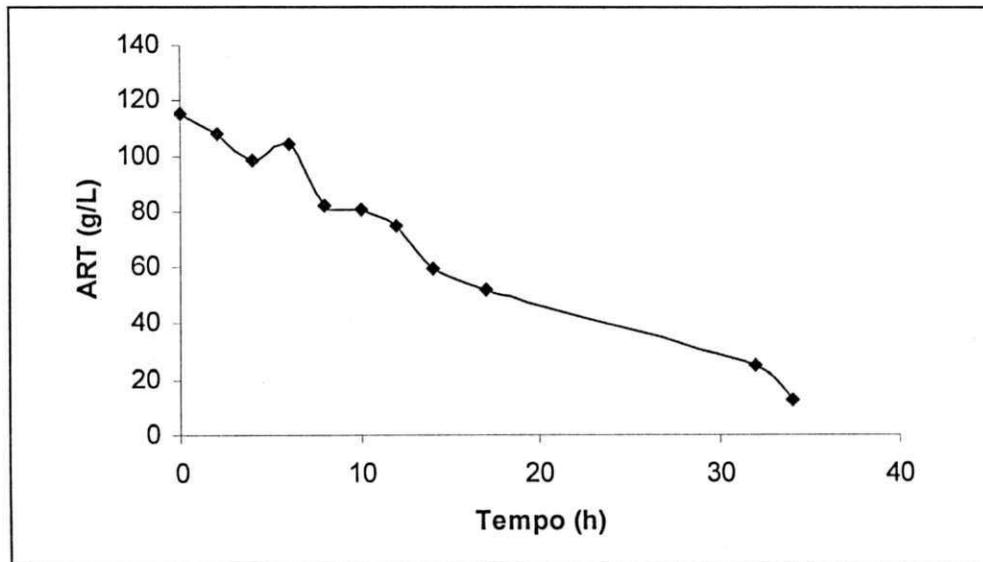


Figura 4.3 – Comportamento dos valores médios da concentração do ART durante a fermentação alcoólica

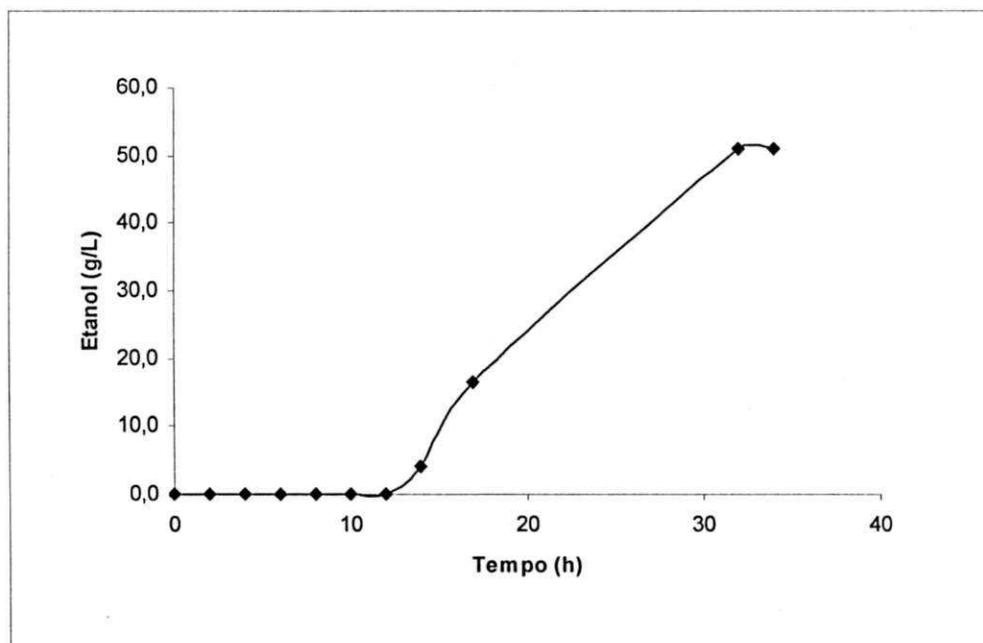


Figura 4.4 – Comportamento dos valores médios do etanol durante a fermentação alcoólica

As Figuras 4.5, 4.7 e 4.8 apresentam a variação da acidez total e volátil expressas em g/100mL de ácido acético e pH com relação ao tempo durante todo o processo fermentativo.

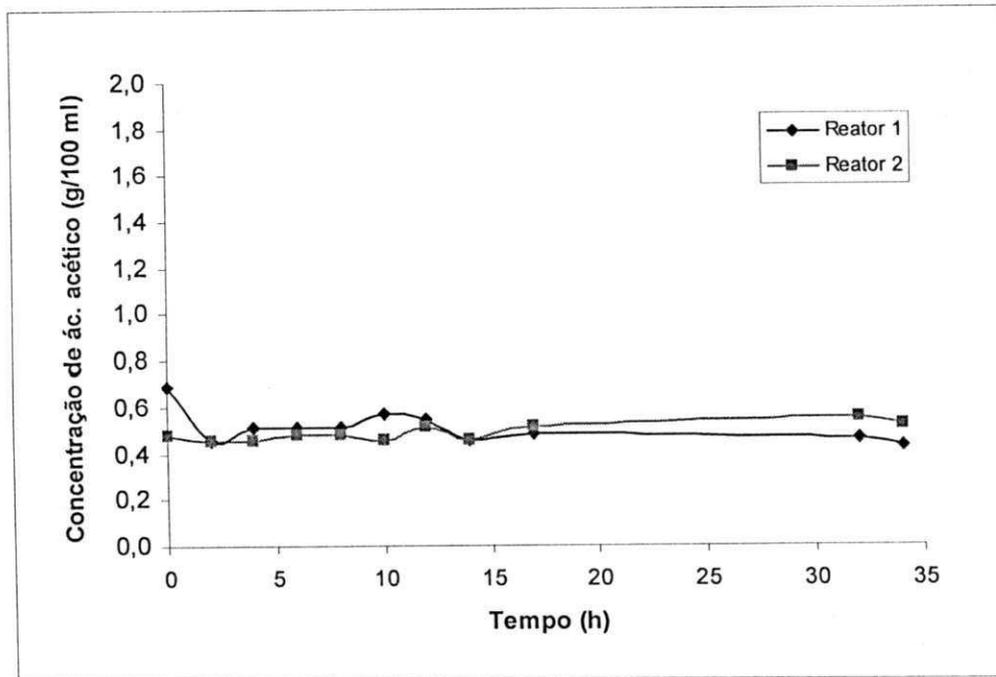


Figura 4.5 – Comportamento da acidez total titulável durante a fermentação alcoólica

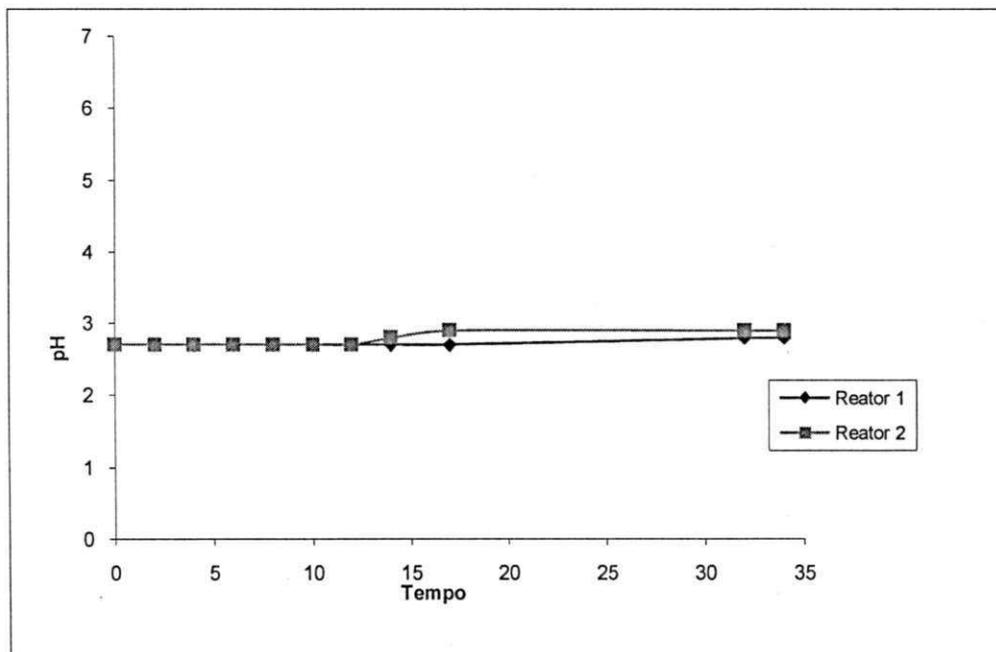


Figura 4.6 – Comportamento do pH durante a fermentação alcoólica

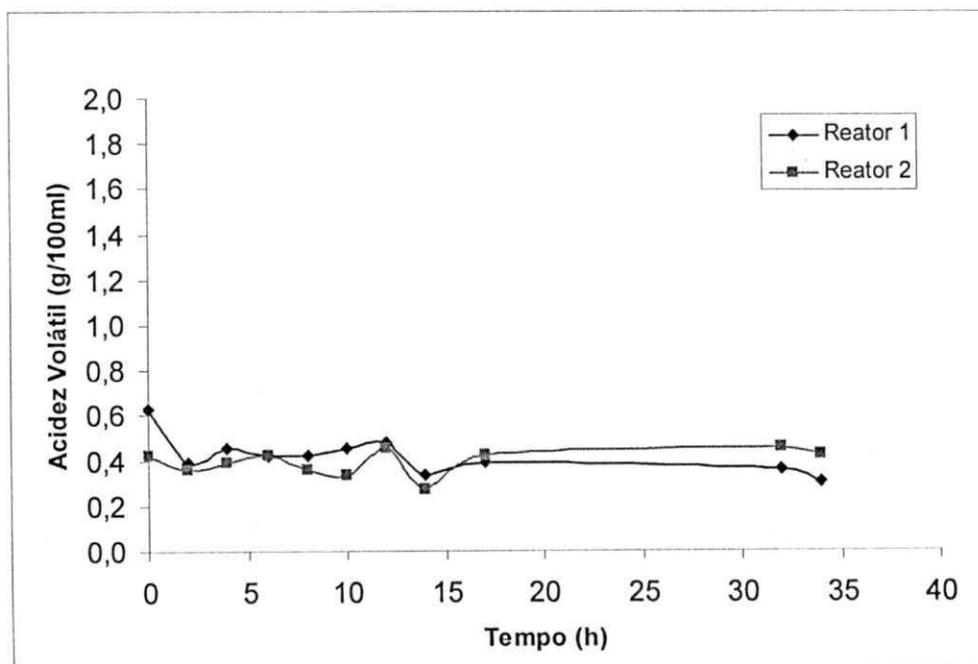


Figura 4.7 – Comportamento da acidez volátil durante a fermentação alcoólica

Observando a Figura 4.5 verifica-se que nas primeiras 10 h o comportamento da acidez variou entre 0,04 e 0,069 g/100mL que corresponde a 4,5 a 6,9 g/L (para o reator 1) e 0,04 e 0,05 g/100mL ou 4,5 e 5,4 g/L para o reator 2. Segundo a Legislação Brasileira (Brasil, 1999) acidez total do fermentado de frutas deve estar na faixa de 3,3 a 7,8 g/L (55 a 130 meq/L). Resultados semelhantes aos encontrados por este trabalho foram observados por TORRES NETO et al. (2006), LOPES (2005) e MAEDA & ANDRADE (2003), com 7,2, 4,5 e 4,7 a 5,5 g/L respectivamente. A acidez é considerada uma das características gustativas mais importantes em fermentados, além disso, influencia na coloração das bebidas fermentadas (RIZZON & MIELE, 2002). Portanto, para o fermentado do figo-da-índia a acidez total se encontra dentro da faixa considerada favorável a bebida.

No mosto utilizando-se do inóculo da levedura selecionada de algaroba o valor de pH trabalhado na fermentação alcoólica pode ser observado na Figura 4.6 o qual esteve abaixo das especificações descritas por FURLETTI (1986) entre 4 e 4,5 para realização de uma boa fermentação alcoólica. Pode-se afirmar, através dos dados de concentração alcoólica, que o pH baixo não comprometeu o bom desenvolvimento da fermentação, pois não houve aparentemente qualquer alteração que inibisse a levedura na faixa de pH ao longo do processo, trabalhado com 2,7. Comportamentos semelhantes do pH, verificado neste trabalho durante o processo fermentativo, também foram verificados por MAEDA &

ANDRADE (2003), MAMEDE & PASTORE (2007), BORGES et al. (2000), MOURA et al. (2000).

Na Figura 4.7 observa-se que a acidez volátil variou ao longo da fermentação em uma faixa média entre 0,4 e 0,6 g de ácido acético/100mL que se encontra dentro dos padrões exigidos para fermentados de frutas. Nos pontos compreendidos entre 12 e 16 h nota-se um aumento, com uma variação entre estes dois valores, comportamento este semelhante ao observado na Figura 4.5 da acidez total.

#### **4.2.2 Fermentação alcoólica utilizando o inóculo levedura comercial**

Na levedura comercial não houve o estudo cinético da fermentação alcoólica, ou seja, as análises físico-químicas foram realizadas no início e final da fermentação. Foi adicionada no mosto a sacarose (chaptalização) prática executada para minimizar a inibição dos microrganismos pelo substrato na proporção de 100 g para 1 L de suco. O °Brix inicial e final obtiveram uma concentração de 11 e 3,5 °Brix respectivamente. Com uma graduação alcoólica de 10,5 °GL. CORAZZA et al. (2001) fizeram a correção com açúcar elevando a concentração para 26,5 °Brix obtendo um fermentado de laranja com 10,6 °GL. A correção do mosto, com relação as fontes de nitrogênio e fósforo, foi feita com adição de sulfato de amônia e fosfato de potássio numa proporção de 0,2 e 0,6 g/L respectivamente. A sulfitação foi realizada com adição de metabissulfito de potássio numa proporção de 3 gramas para cada 10 L de suco. As mesmas proporções foram realizadas em trabalhos anteriores por CARMO et al. (2007) e LOPES (2005).

Com relação ao ART houve uma diminuição esperada no processo da fermentação alcoólica visto na Tabela 4.4, pois no fermentado final chegou a 12,8 g/L com 48 h de fermentação decorrente do consumo do substrato pelo microrganismo, indicando que o substrato já havia consumido 88% de ART. Observando-se uma produção de etanol de 57,5 g/L que corresponde a uma graduação alcoólica de 7,3 °GL.

As análises de acidez total inicial e final se mantiveram abaixo do limite permitido 1,3 e 0,75 g/L respectivamente de acordo com a legislação brasileira (BRASIL, 1997). A acidez volátil deve-se aos ácidos graxos presentes no fermentado, tais como fórmico, acético, butírico etc. Há necessidade de se conhecer a concentração de ácidos voláteis presentes para que o produto esteja em conformidade com os limites legais, indique o desenvolvimento da acidez durante o armazenamento e, como medida preventiva de possível deterioração do

fermentado (AMERINE & OUGH apud PAZ et al., 2007). O produto em questão apresentou baixa concentração de ácidos voláteis como pode ser observado na Tabela 4.4. Outro fator importante para uma boa realização da fermentação alcoólica é o pH que neste caso ficou em torno de 4,5 onde oferece condição ótima para a levedura.

Tabela 4.4 – Caracterização físico-química do fermentado do fruto figo-da-índia

Parâmetros analisados	Levedura comercial	
	Fermentado inicial	Fermentado final
Açúcares redutores totais (g/L)	139,31 ± 0,01	12,81 ± 0,00
Sólidos solúveis totais (°Brix)	11,00 ± 0,00	3,50 ± 0,00
ATT (%)	1,30 ± 0,00	0,75 ± 0,04
Acidez fixa (g/L)	0,10 ± 0,00	0,21 ± 0,07
Acidez volátil (g/L)	1,20 ± 0,00	0,54 ± 0,02
pH	4,50 ± 0,00	5,00 ± 0,00

#### 4.2.3 Considerações gerais da produção de fermentado do fruto figo-da-índia

Na Tabela 4.5 estão apresentados os resultados dos parâmetros cinéticos (% de conversão, produtividade e  $Y_p/s$ ). No estudo da fermentação alcoólica para produção do fermentado da fruta, usando como inóculo a levedura selecionada do mosto da algaroba, o tempo de fermentação foi de 34 h e no caso do estudo utilizando-se da levedura comercial, o tempo de fermentação foi de 48 h.

Tabela 4.5 – Parâmetros cinéticos dos fermentados

Parâmetros	Levedura selecionada		Levedura comercial
	Valores experimentais (34 h)		Valores experimentais (48 h)
	Reator 1	Reator 2	
% Conversão	92,00	88,80	88,00
Produtividade (g/L.h)	1,43	1,53	1,19
$Y_p/s$ (g/g)	0,470	0,454	0,450

Observando-se a Tabela 4.5, verifica-se que o percentual de conversão médio dos dois reatores da fermentação alcoólica para a produção do fermentado do figo-da-índia, utilizando-

se do microrganismo selecionado do mosto da algaroba (ALVES, 2008) é de 90,4% acima do encontrado para o mesmo estudo, usando a levedura comercial. Com relação a produtividade, observa-se que a levedura selecionada apresenta maior valor médio (1,48 g/Lh), bem acima do encontrado para a levedura comercial. O rendimento teórico de conversão de substrato em produto ( $Y_p/s$ ) foi de 0,45 para o processo de fermentação alcoólica usando a levedura comercial, enquanto a média dos dois reatores, utilizando-se da levedura selecionada foi de 0,462.

Comparando-se os parâmetros cinéticos da fermentação alcoólica dos dois estudos, verifica-se que a levedura selecionada apresenta melhor eficiência de processo.

Comparando-se os parâmetros do percentual de conversão (49,77%) e produtividade (1,55 g/L h) dos fermentados do umbu obtidos por CARMO et al. (2007); percentual de conversão (91,82%) e produtividade (3,05 g/L h) do mandacaru obtidos por ALMEIDA et al. (2006); e, os parâmetros do percentual de conversão (67,00%) e produtividade (0,43 g/L h) dos fermentados de figo-da-índia obtidos por TORRES NETO et al. (2006), com os obtidos nesse estudo (Tabela 4.5), verifica-se que o percentual de conversão dos fermentados de umbu e do figo-da-índia estão bem abaixo dos encontrados nesse trabalho, tanto para a média da levedura selecionada (90,4%), como para a levedura comercial (88%). Com relação ao fermentado de mandacaru, verifica-se valor semelhante ao do fermentados encontrados nesse trabalho. Ainda relacionado ao parâmetro cinético produtividade, observa-se que, comparando-se com o fermentado de umbu, o valor do fermentado do fruto do presente estudo está em média semelhante.

OLIVEIRA (2003) estudando a produção dos fermentados de cupuaçu e graviola, obteve valores de  $Y_p/s$  de 0,36 e 0,48 respectivamente. Comparando esses valores com o obtido no presente trabalho, para o fermento selecionado, nota-se que o fermentado do fruto da palma apresenta rendimento em produto bem acima do encontrado para o fermentado de cupuaçu e praticamente igual ao do fermentado de graviola.

### 4.2.3 – Estudo da destilação (produção da aguardente)

A destilação é a operação final na produção de aguardente tendo como produtos finais duas frações líquidas. O destilado rico em etanol água e outros componentes e a vinhaça (também conhecida como o vinhoto) composta por açúcares não fermentados, ácidos graxos, sais minerais, entre outros (CARDOSO, 2001).

#### 4.3.1 – Processo de destilação

Na Figura 4.8 observa-se o comportamento cinético da bidestilação realizada com o fermentado da levedura de algaroba, uma vez que na primeira destilação o teor alcoólico estava bem abaixo dos padrões exigidos pela legislação brasileira. Com a levedura comercial não foi necessário realizar uma bidestilação. Observa-se uma redução do teor alcoólico com o aumento do tempo de destilação.

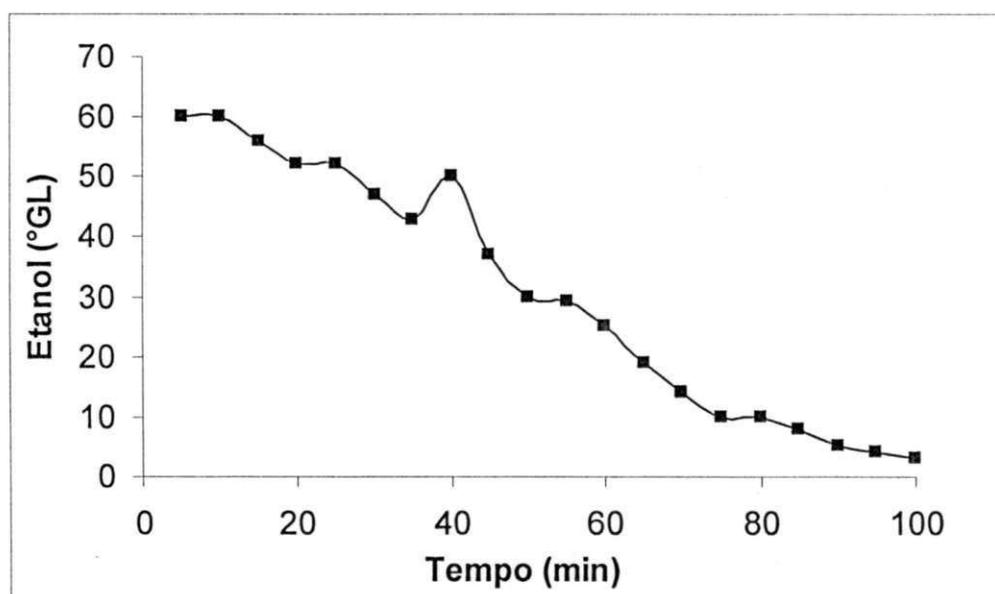


Figura 4.8 - Cinética da bidestilação para produção de aguardente de figo-da-índia

As Tabelas 4.6 e 4.7 apresentam valores das análises físico-químicas e cromatográficas das aguardentes provenientes das destilações dos fermentados do fruto figo-da-índia utilizando a levedura comercial e a levedura de algaroba, respectivamente.

O componente acetaldeído (etanal) é formado no decorrer da fermentação alcoólica, sendo um produto do metabolismo primário, produzido a partir de aminoácidos presentes no meio fermentativo e pela oxidação do etanol (TORRES NETO et al., 2006). A sulfitação do

mosto pode resultar em destilados com altas concentrações de etanal. Observando-se a Tabela 4.6, pode-se perceber que a concentração de acetaldeído (etanal) diminui com o tempo de destilação, ou seja, maior concentração na fração cabeça e menor concentração na fração cauda. Verifica-se que a concentração de etanal na aguardente (fração coração) está duas vezes superior ao limite máximo preconizado pela legislação brasileira (BRASIL, 1997). Isto pode ter sido devido a sulfitação do mosto no processo de fermentação para produção do fermentado. Entretanto na Tabela 4.7, para o fermentado da fruta utilizando-se da levedura selecionada, a concentração da fração coração está dentro das especificações descritas pela legislação brasileira (BRASIL, 1997).

O componente acetona é encontrado normalmente no vinho e nos fermentados de frutas nas concentrações entre 3 a 32 mg/L (TORRES NETO et al., 2006). Pode-se verificar na Tabela 4.6 a ausência do mesmo na fração coração e na fração cabeça verifica-se a detecção do componente em baixa concentração (1,21 mg/100mL AA). Assim como na Tabela 4.7 as frações cabeça e coração apresentaram baixas concentrações, 0,86 e 0,20 mg/100mL respectivamente.

Com relação ao componente acetato de etila, WINDHOLTZ (1976) afirma que ele é o responsável por um aroma agradável de frutas na aguardente quando presente em pequenas quantidades, mas em grandes quantidades deixa um sabor enjoativo e indesejado. Observando as Tabelas 4.6 e 4.7, verifica-se que há uma redução da sua concentração ao longo das frações destiladas, ou seja, maior concentração na cabeça, como com o etanal, uma vez que são substâncias voláteis que volatilizam no início da destilação (fração cabeça). A concentração de acetato de etila na aguardente (coração) está abaixo do máximo permitido.

Tabela 4.6 – Análises físico-químicas e dos componentes voláteis, metanol e álcoois superiores (levedura comercial)

Substâncias	Mosto fermentado	Cabeça	Coração	Cauda	Norma (mg/100 mL de álcool anidro)
Acetaldeído	13,90	160,95	64,75	1,72	Máximo 30
Acetona	nd	1,21	nd	nd	
Acetato de etila	152,36	346,65	40,54	nd	Máximo 200
Metanol	134,13	110,91	157,64	272,34	**Máximo 700
N propanol*	8,30	18,82	13,77	10,58	
Isobutanol*	35,23	123,55	51,74	11,72	
N butanol*	0,48	1,92	1,15	0,73	***Máximo 3
Isoamílico*	56,68	205,10	83,24	27,33	
Álcoois superiores (*)	100,69	349,39	149,90	50,36	***Máximo 360
Acidez total em ácido acético		300	50	20	g/100mL de ácido acético
Acidez volátil		200	30	10	Acidez volátil em ácido Máximo 150
% etanol (v/v)	10,50	48,00	34,90	15,90	34 – 54 °GL
Soma dos**** componentes secundários		1056,99	285,19	62,08	Mínimo 200 Máximo 650
Volume (L)	11,40	0,2	1,6	0,2	

\*\* **DECRETO N° 2.314, DE 4 DE SETEMBRO DE 1997.** Art 88. § 4º No destilado alcoólico simples de origem agrícola o teor de furfural não deverá ser superior a cinco miligramas; o álcool metílico não deverá ser superior a duzentos miligramas, com exceção do proveniente de mosto com polpa de frutas fermentadas ou bagaço de uva, cujo limite máximo será setecentos miligramas, sendo todos considerados por cem mililitros do destilado, expressos em álcool anidro.

\*\*\***Instrução Normativa n° 13, de 29 de junho de 2005** do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

\*\*\*\* Art 85. Os coeficientes de congêneres dos destilados, bebidas destiladas e retificadas, não previstos neste Regulamento, quando necessário, serão estabelecidos em ato administrativo complementar. Parágrafo único. **DECRETO N° 2.314, DE 4 DE SETEMBRO DE 1997.** Art. 85. **Parágrafo único.** Entende-se como coeficiente de congêneres, ou componentes voláteis não-álcool, ou substâncias voláteis não-álcool, ou componentes secundários não-álcool, ou impurezas voláteis não-álcool, a soma de acidez volátil, expressa em ácido acético, aldeídos, expresso em acetaldeído, ésteres, expresso em acetato de etila, álcoois superiores, expressos pelo somatório dos mesmos, e furfural, todos expressos em miligramas por cem mililitros de álcool anidro.

Tabela 4.7 – Análises físico-químicas e dos componentes voláteis, metanol e álcoois superiores (aguardente da levedura de algaroba)

Substâncias	Mosto fermentado	Cabeça	Coração	Cauda	Norma (mg/100 mL de álcool anidro)
Acetaldeído		49,78	19,55	nd	Máximo 30
Acetona		0,86	0,20	nd	
Acetato de etila		131,82	10,76	nd	Máximo 200
Metanol		91,73	110,97	193,36	**Máximo 700
N propanol*		40,17	33,28	11,09	
Isobutanol*		168,15	84,99	4,34	
N butanol*		1,25	0,93	nd	***Máximo 3
Isoamílico*		486,79	252,42	10,91	
Álcoois superiores (*)		696,36	371,62	26,34	***Máximo 360
Acidez total em ácido acético		90	50	20	g/100mL de ácido acético
Acidez volátil		60	30	10	Acidez volátil em ácido Máximo 150
Cádmio (Cd)		Nd	nd	Nd	
Chumbo (Pb)		0,24±0,005	0,19±0,005	0,28±0,008	200 mg/L
Cobre (Cu)		1,2 0,120	4,2±0,325	22,6±5,1	5 mg/L
% etanol (v/v)	7,3	53,66	46,20	9,5	34 – 54 °GL
Soma dos**** componentes secundários		431,93	598,19	36,34	Mínimo 200 Máximo 650
Volume (L)	16,700	0,167	1,336	0,167	

\*\* DECRETO Nº 2.314, DE 4 DE SETEMBRO DE 1997. Art 88. § 4º No destilado alcoólico simples de origem agrícola o teor de furfural não deverá ser superior a cinco miligramas; o álcool metílico não deverá ser superior a duzentos miligramas, com exceção do proveniente de mosto com polpa de frutas fermentadas ou bagaço de uva, cujo limite máximo será setecentos miligramas, sendo todos considerados por cem mililitros do destilado, expressos em álcool anidro.

\*\*\*Instrução Normativa nº 13, de 29 de junho de 2005 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

O metanol é um dos constituintes mais indesejáveis na produção de aguardente, não devendo ultrapassar o limite de 35 mg/100mL da bebida ou 700 mg de metanol/100mL de álcool anidro segundo a legislação brasileira (BRASIL, 1997). Observa-se nas Tabelas 4.6 e 4.7 que os valores de metanol são inferiores ao máximo permitido, sendo de 157,64 e 110,97 mg/100mL de álcool anidro para o fermentado usando a levedura comercial e selecionada da algaroba, respectivamente. Esses valores não chegam a 23% do máximo permitido.

No caso de bebidas alcoólicas, os álcoois superiores desempenham papel importante no aroma (RANKINE, 1967; SUOMALAINEN, 1971). A concentração limite máxima estabelecida pela legislação brasileira de álcoois superiores é de 360 mg/L de álcool anidro. Verifica-se que ao longo da destilação a concentração de álcoois superiores foi diminuindo com o tempo de destilação, ou seja, menor valor para a fração cauda. Nota-se pela Tabela 4.6 que a aguardente apresenta concentração de álcoois superiores abaixo do limite máximo da legislação em vigor. Com relação a aguardente do destilado do fermentado usando a levedura selecionada (Tabela 4.7), observa-se um valor acima do limite máximo, mas praticamente comparável com o preconizado pela legislação, ou seja, ultrapassou ligeiramente os limites exigidos pela legislação brasileira (BRASIL, 1997). Diversos fatores influenciam a formação de álcoois superiores pelas leveduras como a espécie e a linhagem (RANKINE, 1967; FAHRASMANE et al., 1985), temperatura (HOUGH & STEVENS, 1961) composição do meio (AYRAPAA, 1967).

O teor de metais, principalmente o cobre é o parâmetro comumente mais envolvido na extrapolação do limite máximo para aguardentes, em função da utilização de destiladores de cobre. Segundo LÉAUTE (2003), um dos principais problemas inerentes a produção de bebidas destiladas tem sido a contaminação pelo cobre presente nos alambiques e aparelhos de destilação. A amostra de cobre na levedura de algaroba apresentou um valor de 4,2 mg/L, ou seja, abaixo dos limites exigidos pela legislação brasileira 5 mg/L (BRASIL, 1997).

Nos resultados observados nas Tabelas 4.6 e 4.7, respectivamente, verifica-se que a soma dos componentes secundários atendem aos padrões exigidos pela legislação.

No destilado utilizando a levedura isolada no caldo algaroba houve a necessidade de realizar uma bidestilação para adequar a concentração dos componentes secundários aos níveis exigidos pelas normas da legislação brasileira conforme observado na Tabela 4.7.

Os resultados da acidez voláteis observados nas Tabelas 4.6 e 4.7 foram semelhantes para as duas linhagens de leveduras, estando seus valores dentro dos padrões recomendados pela legislação brasileira.

Para se obter uma aguardente de qualidade a mesma deve estar dentro dos padrões de teor de grau alcoólico exigido pela norma brasileira. Os resultados obtidos e apresentados nas Tabelas 4.6 e 4.7 classificam as aguardentes do figo-da-índia como uma bebida que atendem as exigências da legislação neste quesito.

Na produção das aguardentes do figo-da-índia, os volumes obtidos em relação ao volume do fermentado está em torno de 14 e 8%, respectivamente. Nota-se que para uma grande produção do destilado é preciso grandes volumes de fermentado. O percentual de volume de aguardente em relação ao volume do fermentado utilizando-se da levedura selecionada do extrato de algaroba foi bem inferior em função da menor concentração de etanol no fermentado.

#### 4.3.2 Armazenamento (descanso e envelhecimento)

O armazenamento da bebida em barris de madeiras após certo tempo influi na composição química, aroma, sabor e cor do destilado. Por melhor que tenha sido a fermentação e mais apurada a destilação, o produto final tem sempre sabor “ardente e seco”, nunca é suave, agradável e fino, existindo, portanto diferenças significativas entre bebidas envelhecidas e não envelhecidas (MORI et al., 2003). Há necessidade de um período de, pelo menos, dois ou três meses de descanso para completar a sua qualidade sensorial (SILVA et al., 1999).

Tabela 4.8 – Estudo das perdas no processo de descanso da aguardente em barril de umburana

Tempo de armazenamento	Volume inicial de aguardente verde (mL)	Volume acrescentado de aguardente verde (mL) (31/08/2007)	Volume final de aguardente descansada (mL)	Perdas (%)
03 de julho a 03 de dezembro de 2007 (5meses)	1300	215	1250	17,49 (evaporação em 5 meses)
Gradação alcoólica ( <sup>o</sup> GL)	34,9	46,2 1300 x 34,9 + 215 x 46,2 = 36,5	36,0	1,4% (redução de gradação em 3 meses)

A aguardente obtida do fermentado utilizando-se da levedura comercial foi levada para o barril de umburana (*Amburana cearensis*) com um volume inicial de 1300 mL, após 58 dias foi adicionado no mesmo barril uma quantidade de 215mL de aguardente (destilada do fermentado da levedura selecionada do extrato da algaroba).

Observou-se depois de 5 meses as perdas da bebida por evaporação e a redução da graduação alcoólica como pode ser observado na Tabela 4.8. Durante os 5 meses teve-se o cuidado de deixar o barril sempre úmido com pano de algodão para evitar uma quantidade de perda maior. Observam-se perdas por evaporação de 17,49% e praticamente não houve redução da graduação alcoólica.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSÕES

1. Os frutos do figo-da-índia utilizados na produção de fermentado e destilado apresentaram características adequadas para o consumo in natura, bem como para o processamento industrial.
2. Em termos de rendimento a produção do fermentado do fruto integral é tecnicamente viável, pois o mesmo apresentou um bom rendimento.
3. O meio de cultivo para a fermentação utilizando a levedura isolada no caldo da algaroba apresentou um pH baixo, porém não comprometeu o desenvolvimento do microrganismo no processo fermentativo.
4. No caso da levedura comercial o pH trabalhou na faixa considerada recomendável para os processos de fermentação alcoólica.
5. As concentrações de ácidos totais nos fermentados encontram-se dentro dos padrões exigidos pela legislação.
6. A levedura selecionada a partir do caldo de algaroba utilizada como inóculo no processo fermentativo foi eficiente na conversão da sacarose em etanol, apresentando eficiência superior ao observado com a levedura comercial.
7. A levedura selecionada a partir do caldo da algaroba apresentou um percentual de conversão de 2,4, um valor médio de produtividade de 1,48 g/L h, superiores aos encontrados para a levedura comercial.
8. As aguardentes do figo-da-índia encontram-se com todos os parâmetros analisados dentro dos padrões exigidos pela legislação brasileira, excetuando-se os álcoois superiores da aguardente que utilizou o inóculo levedura selecionada do extrato da algaroba o qual esteve um pouco acima do máximo permitido.
9. Os resultados das análises físico-químicas e cromatográficas comprovam a qualidade da bebida (aguardente).
10. Praticamente não houve redução da graduação alcoólica no descanso da aguardente, mas houve perdas por evaporação de 17,49% da bebida.

## CAPÍTULO VI

### 6. PERSPECTIVAS PARA FUTUROS TRABALHOS

1. Fazer análise sensorial da bebida fermentada e da aguardente do figo-da-índia.
2. Reaproveitamento do resíduo (bagaço) para enriquecimento protéico.
3. Estudo do aproveitamento do resíduo na produção do álcool combustível por hidrólise ácida e enzimática.
4. Estudar a otimização do processo de produção da aguardente do fruto figo-da-índia.
5. Estudo da viabilidade econômica do processo produtivo da aguardente do figo-da-índia.

## CAPÍTULO VII

### 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, M. M. D.; TAVARES, D. P. S. A.; ROCHA, A. S.; OLIVEIRA, L. S. C.; SILVA, F. L. H.; MOTA, J. C. Cinética da produção do fermentado do fruto do mandacaru. Rev. Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.8, n.1, p.35-42, 2006.
- ARRUDA, A. R ; CASIMIRO, A. R. S. ; GARRUTI, D. S. ; ABREU, F.A P. Processamento de bebida fermentada de banana. Revista Ciência Agronômica, v.34, n.2, p.161-167, 2003.
- ALVES, M. F. Aproveitamento de potencialidades biotecnológicas da algaroba (*Prosopis juliflora*, DC): Alternativa para a produção de fermento biológico. UFCG: Campina Grande, Tese Doutorado, 2008.
- ARCHIBALD, E. E. A. The development of the ovule and seed of jointed cactus (*Opuntia aurantiaca* Lindley) South African Journal of Science, v.36, p.195-211. 1935.
- ASKAR, A.; EL-SAMAHY, S. K. Chemical composition of prickly pear fruits. Deutsche Lebensmittel Rundschau, v.77, p.279-281, 1981.
- AYRAPAA, T. Formation of higher alcohols from <sup>14</sup>C- labelled valine and leucine. Journal of the institute of Brewing, London. Scientia Agricola, v.73, p.17-30, 1967.
- BALDINI, E.; ALBUGHINA, O.; BARGIONI, G.; COBIANCHI, D.; LANNINI, B.; TRIBULATO, E.; ZOCCA, A. Analisi energetiche di alcune colture arboree da frutto. Riv. Ingegneria Agraria, v.13 p.73-201. 1982.
- BARBERA, G.; INGLESE, P.; La MANTIA, T. Influence of seed content on the some characteristic of the fruit of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Mill). Scientia Horticulturae , v.58, p.161-165. 1994.
- BARBERA, G.; CARIMI, F.; INGLESE, P. Past and present role of the Indian – fig prickly – pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, Cactaceae) in the agriculture of Sicily. Economic Botany, n.46, p.10-22, 1992.
- BARBERA, O; INGLESE, P. La coltura del ficodindia. Calderine Edagricola Bologna, Italy. 189p. 1993.
- BARRE, P.; BLONDIN, B.; DEQUINS, S.; FEVILLAT, M.; SABLAYORELLES, J.M.; Salmon, La levadura de Fermentación Alcocholica, IN: FLANZY, C. Enologia: Fundamentos científicos e tecnológicos. Madrid: Mundi-Prensa e AMV, 2000, p.274-315.
- BORGES, M. F.; FILGUEIRAS, H. A. C.; MOURA, C. F. H. Mangaba (*Hancornia speciosa* Gom.). In: DONADIO, L. C. (ed) Caracterização de frutas nativas da América Latina. Jaboticabal: FUNEP, 2000. cap. 12, 44p.
- BOKE, N. The cactus gynoecium: a new interpretation. American Institute of Biological Sciences. v.51, n.6, p.598-610. 1964.

- BORTOLINI, F.; SANTANNA, E. S.; TORRES, R. C. Comportamento das fermentações alcoólicas e acéticas de sucos de kiwi (*Actinidia deliciosa*) composição dos mostos e métodos de fermentação acética. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.21, n.2, p.236-243, 2001.
- BORENSTEIN, B. The role of ascorbic acid in foods. *Food Technology*, v.4, n.11, p.98-99, 1987.
- BOZA, Y.; HORII, J. Influência do grau alcoólico e da acidez do destilado sobre o teor de cobre na aguardente. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.20, n.3, p.279-284, 2000.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto n. 2.314 de 04 de setembro de 1997.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Métodos Físico-químicos para análises de alimentos. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 1018p. (Série A. Normas Técnicas).
- BRUTSCH, M. O. Prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) cultivation in Southern África. In: Symposium of agriculture use of the cactaceae. Prospects and problems. International Organization for succulent plant study, Frank Furth, 1984.
- CANTWELL, M. Manejo pós-colheita de frutas e verduras de palma forrageira. In: BARBERA, G.; INGLESE, P. (Eds). Agroecologia, cultivos e usos da palma forrageira. Paraíba: SEBRAE/PB, p.20-27, 2001.
- CANUTO, T. M. Caracterização do fruto da palma (*Opuntia ficus indica* Mill). 38f. UEPB: Campina Grande. Monografia (Graduação em Química Industrial), 2006.
- CARDOSO, M. G. Análises físico-químicas de aguardentes. In: Produção artesanal de aguardente UFLA/FAEPE. p.107-121, 1998.
- CARDOSO, M. G. Produção de aguardente de cana-de-açúcar. In: Lavras; Editora UFLA, 2001. 264p.
- CARMELLO, Q. A. C. Nutrição e adubação de plantas hortícolas. In: Mimami, K. Produção de mudança de qualidade em horticultura. São Paulo: Queiroz, T. A., p.33-37, 1995
- CARMO, S. K. S.; SÁ, S. K. C. V. Z.; ALMEIDA, M. M.; Estudo da produção e caracterização do fermentado de umbu a partir de sua polpa comercial. In: COBEC-IC. 2007.
- CORAZZA, M. L.; RODRIGUES, D. G.; NOZAKI, J. Preparação e caracterização do vinho de laranja. *Química Nova*, v.24, n.4, p.449-452, 2001.
- CHAVES, J. B. P. Cachaça – produção artesanal de qualidade. Viçosa: CPT. 1998.
- CHIACHIO, F. P. B. MESQUITA, S. A. SANTOS, J. R. Palma forrageira: Uma oportunidade econômica ainda desperdiçada para o semi-árido baiano. *Revista Bahia Agrícola*, v.7, n.3, 2006.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Pós colheita de frutos e hortaliças: Fisiologia e Manuseio. Lavras: ESAL/ FAEPE, 1990. 320p.
- CLETO, F.V.G.; MUTTON, M. J. R. Rendimento e composição das aguardentes de cana, laranja e uva com a utilização de lecitina no processo fermentativo. *Ciência e Agrotecnologia*, v.28, n.3, p.578-584, 2004.

- DIAS M.; A. NELSON, D. Efeito de diferentes madeiras sobre a composição da aguardente de cana envelhecida. *Ciência Tecnologia de Alimentos*, v, 18, n.3, p.331-334, 1998.
- DOMINGUES, O. Origem e introdução da palma forrageira no nordeste. Instituto Joaquim Nabuco de Pesquisas Sociais. Recife. Pernambuco. 73p. 1963.
- FAÇANHA, S. H. F. Estudo dos parâmetros cinéticos básicos da fermentação alcoólica do suco de caju (*anacardium Occidentale* L.) clarificado. 1998. 119f. UFC: Fortaleza. Dissertação de Mestrado.
- FAHRASMANE, C. J., C. PARFAIT, A. GALZY, D. Production of higher alcohols and short chain fatty acids by different yeasts used in rum fermentations. *Journal of Foods Science*. Chicago, v.50, n. 5 p. 1427-1430, 1985.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. "Agro-ecology, cultivation and use of cactus pear," 1995. Edição em português: Agroecologia, cultivos e usos da palma forrageira: tradução do SEBRAE /PB, p.23, 2001.
- FARIAS, I.; FERNANDES, A. P. M.; LIMA, M. de A.; SANTOS, D. C.; FRANÇA, M. P. Cultivo da palma forrageira em Pernambuco. Recife: IPA, 1984. 05p. (Instruções Técnicas, 21).
- FARIA, J. B.; CARDELLO, H. M. A. B.; BOSCOLO, M.; ISIQUE. W. D.; ODELLO.; FRANCO, D. W. Evaluation of Brazilian woods as an alternative to oak for cachaças aging. *European Food Research and Technology*, n.218, p.83-87, 2003.
- FERREIRA, N. D. L. Avaliação química do destilado de caju (*Anacardium Occidentale* L.) obtido por destilação simples em alambique. Dissertação defendida em agosto de 1998. [WWW.embrapa.br/publica/pub/documentos/teses/teses016.html-47](http://WWW.embrapa.br/publica/pub/documentos/teses/teses016.html-47).
- FERREIRA, O. J. Estudo da viabilidade técnico-econômica da produção industrial da aguardente do "licor" de laranja. UNESP: Araraquara. Dissertação de Mestrado. (Faculdade de Ciências Farmacêuticas no Departamento de Alimentos e Nutrição), 2005.
- FIGUEIRÊDO, R. M. F., GRANDIM, A., MARTOCCI, E. T. Armazenamento do suco de acerola microencapsulado. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.3, n.1, p.1-6, 2001.
- FURLETTI, M. E. M. Fatores físicos e químicos que interferem na fermentação etanólica. *Fermentação etanólica: Microbiologia*. UNESP. Instituto de Biociências, São Paulo. 1986.
- FRAZIER, W.G.; WESTHOFF, D.C. *Microbiologia de los alimentos*. Zaragoza: Acribia, 1993. 681p.
- GALHIANE, M. S. Análise de aroma em bebidas por cromatografia gasosa de alta resolução. 99p. USP: São Carlos. Dissertação de Mestrado em Química Analítica, 1998.
- GARRUTI, D. S. Composição de voláteis e qualidade de aroma do vinho de caju. UNICAMP: Campinas. Tese de Doutorado, 2001.
- GUEDES, C. G. *Culinária com broto da palma*. João Pessoa. Universitária 2002. 53p.
- GUEDES, G. C.; OLIVEIRA, J. S.; FERNANDES, M. de F.; OLIVEIRA, R. D.; JESUS, T. C. B.; SOUZA, V. *Broto de palma, sabor e nutrição: livro de receitas*. Recife. SEBRAE PE/ FAEPE, 2004.

- GUTIERREZ, L. E. Produção de álcoois superiores por linhagens de *Saccharomyces Cerevisae*, durante a fermentação alcoólica. *Scientia Agrícola*, v.50, n.3 p.464-472, 1993.
- HAMMOND, J. R. M. Genetically-modified brewing yeast for the 21 st century. Progress to date. *Yeast*, v.11, n.16, p.1613-1627, 1995.
- HOFFMANN, W. Etnobotânica. In: BARBERA, G.; INGLESE, P. (Eds.). *Agroecologia, cultivos e usos da palma forrageira*. Paraíba: SEBRAE/PB, p.12-19. 2001.
- HOUGH, J. S.; STEVENS, R. Beer flavour. IV factors affecting the production of fusel oil. *Journal of the institute of Brewing*, v.67, p.488-494, 1961.
- INGLESE, P. Plantação e manejo do pomar. In: BARBERA, G.; INGLESE, P. (Eds.). *Agroecologia, cultivos e usos da palma forrageira*. Paraíba SEBRAE/PB, 2001. p.79-93.
- LAKSHMINARAYANA, S.; ALVARADO, S.; SOSA, L.; PÉRES, F. B. The development and postharvest physiology of the fruit of cactus pear (*Opuntia amylicata* T). In: INGLETAND, G. E.; CHARALAMBOUS, G. (ed). *Tropical Foods: Chemistry and Nutrition.*, New York: Academic Press, v.1, p.69-93, 1979.
- LALUCE, C.; PALMIERI, M.C.; CRUZ, R. C. L. Growth and fermentation characteristics of new selected strains of *saccharomyces* at high temperatures and high cell densities, *Journal Biotechnology and Bioengineering*, v.37, p.528-536, 1991.
- LÉAUTÉ, R. Distillation in alambic. *American Journal of Enology and Viticulture*, v.41, n.1, p.90-103, 1990.
- LEUENBERGER, B. Interpretation and tipification of *cactus ficus-indica* L. and *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller (Cactaceae). *Taxon.*, 1991.
- LIMA, U. A. Estudos dos principais fatores que afetam os componentes do coeficiente não álcool das aguardentes de cana. 1964. 140p. USP: São Paulo. Tese de Doutorado.
- LIMA, U.A.; BASSO, L. C.; AMORIM, H.V. Fadiga. In: *Biotechnologia industrial: Processos fermentativos e enzimáticos. Produção de etanol*. São Paulo, SP, v.3, p.1-43, 2001.
- LOPES, E. B. Cochonilla-do-carmim (*Drety lopites cocus*, Costa). Uma nova praga da palma forrageira do cariri paraibano EMBRAPA/EMEPA – PB, 2001. 21p. Relatório Técnico.
- LOPES, R. V. V. Estudo da produção do vinho do fruto da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill). 95f. UFCG: Campina Grande, 2005. Dissertação de Mestrado.
- MAEDA, R. N.; ANDRADE, J. S. Aproveitamento do camu-camu (*Myrciaria dúbia*) para produção de bebida alcoólica fermentada. Artigo: Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia-INPA/CPTA. *ACTA AMAZONICA* p.489-498, 2003.
- MAIA, A. B. A.; PEREIRA, A. J. G.; SCHWABE, W. K. Segundo curso de tecnologia para produção de aguardente de qualidade. Belo Horizonte: UFMG, 1994. 74p.
- MAMEDE, M. E. de O.; PASTORE, G. M. Avaliação de mosto de uva fermentada. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.27, n.2, p.281-284, 2007.

- MATSUURA, F. C. A. U.; CARDOSO, R. L.; FOLEGATTI, M. I. S.; OLIVEIRA, J. R. P.; OLIVEIRA, J. A. B.; SANTOS, D. B. A. Avaliações físico-químicas em frutos diferentes genótipos de acerola (*Malpighia puniceifolia*) Revista Brasileira de Fruticultura, v.23, p.602-603, 2001.
- MENEZES, T. J. B. Os fungos na indústria. Boletim da SBCTA, v.31, n.2, p.116-120, 1997.
- MILLER, G. Use of dinitrosalicilic acid reagent for determination of reducing sugars. Analytical chemistry, v.31, p.426-428. 1959.
- MILLÁN, C.; ORTEGA, J. M. Production of ethanol, acetaldehyde and acetic acid in wine by various yeasts races: role of alcohol and aldehyde dehydrogenase. American Journal of Enology and Viticulture, v.39, n.2, p.107-112, 1988.
- MOURA, C. F. H.; FILGUEIRAS H. A. C.; ALVES, R. E. Pinha (*Annona squamosa* L.) In: Donadio, L. C. (ed) Caracterização de frutas nativas da América Latina. Jaboticabal: FUNEP, 2000 cap. 14, 51p.
- MORI, F. A.; LOURIVAL M. M.; TRUGILHO P. F.; CARDOSO M. das G. Utilização de eucaliptos de madeiras nativas no armazenamento da aguardente da cana-de-açúcar. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.23, n.3, p.396-400, 2003.
- MUNIZ, C. R.; BORGES, M. D. F.; ABREU, F. A. P.; NASSAU, R. T.; FREITAS, C. A. S. Bebidas fermentadas a partir de frutas tropicais. Boletim CEPPA, v.20, n.2, p.309-322, 2002.
- MUTTON, M. R., MUTTON, M. A. A aguardente de cana: Produção e qualidade. Jaboticabal. Fundação Estadual de Pesquisas Agrônomicas, 1992, 171p.
- NASCIMENTO, R. F.; LIMA NETO, B. S.; FRANCO, D. W. Aldeídos em bebidas alcoólicas fermento-destiladas. Revista Engarrafador Moderno, v.7, n. 49 p.75-77, 1997.
- NYKÄNEN, L. Formation and occurrence of flavor compounds in wine and alcoholic beverages. American Journal of Enology and Viticulture, v.37, p.84-96, 1986.
- NOGUEIRA, C. M. C. da C. D. Estudo químico e tecnológico da acerola (*Malpighia glabra*, L.) 117f. UFC: Fortaleza, 1991. Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Alimentos.
- NOVAES, F. V.; OLIVEIRA, E. R.; STUPIELLO, J. T.; et al. Curso de extensão em aguardente de cana. Piracicaba. ESALQ (Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"). 1974. 104p.
- NUNES, B. R. P. Estudos da produção de aguardente de abacaxi. Trabalho de Iniciação Científica da Unidade Acadêmica de Engenharia Química. Universidade Federal de Campina Grande PIBIC/CNPQ, 2007.
- OLIVEIRA, L. P. de. Seleção e aproveitamento biotecnológico de frutos encontrados na Amazônia para elaboração de bebida alcoólica fermentada utilizando levedura imobilizada. 177f. UFAM: Amazonas. Tese de Doutorado em Biotecnologia, 2003.
- PACHECO, M. T. B.; SGARBIERI, V. C. Diferentes métodos de concentração de proteína de levedura e suas implicações nas propriedades funcionais. Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos (SBCTA), v.36, n.2, p.83-94, 2002.
- PAZ, M. F.; SCARTAZZINI, L. S.; OGLIARI, T. C.; BURLIM.; C. Produção e caracterização do fermentado alcoólico *Actinidia deliciosa* Variedade Bruno produzido em Santa Catarina. XVI Simpósio Nacional de Bioprocessos, SINAFERM 2007. Anais... Curitiba, 2007.

- PEREIRA JR., N.; BU'LOCK, J. D. Cell walls proteins and their involvement in the flocculation of *Pichia stipitis*. *Revista de Microbiologia*, v.24, n.2, p.132-139, 1999.
- PIGOTT, N. N.; SHARP, R.; DUNCAN. The science and technology of whiskies. New York : Longman, 1989.
- PIMIENTA, B. E.; ENGELMAN, E. M. Desarrollo de la pulpa y proporción, en volumen, de los componentes del lóculo maduro en tuna (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller). *Agrociência*, n.62, p.51-56. 1985.
- PIMIENTA, B. E.; BARBERA, G.; INGLESE, P. Cactus pear (*Opuntia* spp. *Cactaceae*) International network: An effort for productivity and environment conservation for arid and semiarid lands. *Cactus and Succulent Journal*, p.46-49, 1984.
- PIMIENTA, E. B. El nopal tunero. Univ. de Guadalajara, México, Ed. Jalisco, 1990. 246p.
- PIMIENTA, B. E.; BARBERA, G.; INGLESE, P. Cactus pear (*Opuntia* spp. *cactaceae*) International Network: An effort for productivity and environmental conservation for arid and semiarid lands. *Cactus and Succulent Journal*, v.65, p.225-229. 1993.
- POTTER, N. N. Food Science. Westport: AVI publ. 1980.
- RANKINE, B.C. Formation of higher alcohols by wine yeasts relationships to taste thresholds. *Journal of the Science of food and Agriculture*, v.18, p.583-589, 1967.
- RIBEIRO, C. A. F.; HORII, J. Potencialidades de linhagens de levedura *Saccharomyces cerevisiae* para a fermentação do caldo de cana. *Scientia Agrícola*, v.56, n.2, p.255-263, 1999.
- RIZZON, L. A.; MENEGUZZO J. Elaboração de destilado do vinho na propriedade vitícola. Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves RS, 2001. 31p.
- RIZZON, L. A. MENEGUZZO J. Sistema de produção de destilados do vinho. Embrapa Uva e vinho, Bento Gonçalves, RS, 2007.
- RIZZON, L. A.; MENEGUZZO, J.; MANFROI, L. Grapa. In: EMBRAPA. (Org.). Iniciando um pequeno grande negócio agroindustrial de uva: Vinho tinto, grapa e vinagre. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p.55-67, 2004.
- RIZZON, L. A.; MIELE, A. Acidez na vinificação em tinto das uvas isabel, cabernet sauvignon e carbenet franc. *Ciência Rural*, v.32, n.3, p.511-515, 2002.
- ROEHR, M. Products of primary metabolism. In: REED, G. Biotechnology. New York: Ed. VCH, v.6, p.123-168, 1996.
- ROSE, A.H.; HARRISON, J.S. (ed). The yeasts. London: Academic Press, Artigo: cachaça: qualidade e produção. 1970.
- SÁENZ, C., ESTÉVES, A. M.; SEPÚLVEDA, E.; MECKLENBURG. P. Plant Foods for human nutrition. *Formenty Qualitas Plantarum*, v.52, n.2, p.141-149. 1998.
- SANCHES-PERES, M. F.; SOUSA, S. R.; LALUCE, C. Obtaining strains of *Saccharomyces* tolerant to high temperature and ethanol. *Methods in Biotechnology*, v.14, p.355-367, 2000.

SANTOS, M. V. F. dos; FARIAS, I.; LIRA, M. de A.; NASCIMENTO, M. M. A. dos; SANTOS, D. C. dos; TAVARES FILHO, J. J. Colheita da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) CV. Gigante sobre o desempenho de vacas de lactação. Revista Brasileira de Zootecnia, v.27, n.1, p.33-39. 1998.

SANTOS, S. C.; ALMEIDA S. dos; S. TOLEDO, A. L.; SANTANA, J. C.C.; SOUZA R. R. Elaboração e análise sensorial do fermentado de acerola (*Malpighia punicifolia* L.). Brazilian Journal Food Technology. 5º SIPAL, 2005.

SUOMALAINEN, H. Yeast and its effects on the flavour of alcoholic beverages. Journal of the Institute of Brewing, v.77, p.164-177, 1971.

SCHEINVAR, L. Taxonomia das opuntias utilizadas. INGLESE, P.; BARBERA, G.; BARRIUS, E. P. (Ed). Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira. Ed, SEBRAE/PB, 2001. cap 3, p.20-27.

SCHWAN, R. F.; DIAS, D. R.; LIMA, C. O.; Metodologia para elaboração de fermentados de cajá (*Spondias mombin* L.). Ciências e Tecnologia de Alimentos, p.342-350, 2003.

SEBRAE, M.G. Diagnóstico da cachaça de Minas Gerais. Pesquisa de campo. Universidade Federal de Lavras/ Fundação de Amparo ao Ensino, Pesquisa e Extensão. 2001

SCHONFELDER. Fruto da palma forrageira. Disponível em: [http://www.biologie.uni-regensburg.de/Botanik/Schoenfelder/kanaren/images/Opuntia\\_ficus-indica.jpg](http://www.biologie.uni-regensburg.de/Botanik/Schoenfelder/kanaren/images/Opuntia_ficus-indica.jpg). Acesso em 20 de dezembro de 2007.

SILVA, A. G. de M. e; ASQUIERI, E. R. Aguardente de jabuticaba: Parâmetros analíticos e tecnológicos. In: XX Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2006, Curitiba. XX CBCTA - Alimentos e agroindustrias brasileiras no contexto internacional, 2006. v. CD.

SILVA, E. F. Obtenção de aguardente de banana em micro-escala: caracterização do processo e do produto. Dissertação (Mestrado) Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal da Paraíba, UFPB, João Pessoa. 2004.

SILVA, F. L. H.; RODRIGUES, M. I.; MAUGERI, F. Dynamic modelling, simulation and optimization of an extractive continuous alcoholic fermentation process, Journal of chemical Technology and Biotechnology, London, v.74, n.2, p.176-182, 1999.

SILVA, M. E. Estudos cinéticos da fermentação alcoólica da produção de vinho e da fermentação acética da produção de vinagre de caju. Tese de mestrado (dissertação) UFCG (Universidade Federal de Campina Grande) 2004.

SUASSUNA, P. O. Projeto palma no trópico brasileiro. In: Seminário de Tropicologia. Anais..., Recife: 2004.

TEIXEIRA, J. C.; EVANGELISTA, A. R.; PERZ, J. R. O.; TRINDADE, I. A. M.; MORON, I. R. Cinética da digestão ruminal da palma forrageira. Ciência e Agrotecnologia, v.23, n.1, p.179-186, 1999.

TORRES NETO, A. B.; SILVA, M. E.; SILVA, W. B. SWARNAKAR, R.; SILVA F. L. H. Cinética e caracterização físico-química do fermentado do pseudofruto do caju (*Anacardium occidentale* L.). Química Nova, v.29 n.3, p.489-492, 2006.

VALSECHI, O. Aguardente de cana-de-açúcar. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1960. 116p.

WARD, O. P. Biotecnología de la fermentación. Principios, proceso y productos. Zaragoza (España). Ed. Acribia, S. A. 1991, 155p.

WESSELS, A. B.; CROUKAMP, L. Development of the pulp of *Opuntia ficus-indica* (L.) mill. fruit: A new look at fruit classification. In: Segundo Congreso Internacional de Tuna Y Cochinilla, Anais... Santiago, Chile, 1992.

WESSELS, A. B. Spineless prickly pear. Perskor Johannesburg South África. P.61, 1988.

WINDHOLTZ, M. The merck index. Rahway: Merck, 1976.

WOIRGARDT, B. Marktchancen von opuntiefruchten aus sizzilien. In: HOFFMANN, W. (ed). Kakleen und standortgetechte landnutzung. die bedeutung pflanzlicher ressourcen. Band 6. Fachhochschule Wiesbaden, Germany. 1988.