



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
UNIDADE ACADÊMICA CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**



TATIANE DE OMENA LIMA

**PRODUÇÃO ARTESANAL DE AGUARDENTE DE MEL DE ABELHAS
DE DIFERENTES FLORADAS**

Maceió
Julho de 2011

TATIANE DE OMENA LIMA

**PRODUÇÃO ARTESANAL DE AGUARDENTE DE MEL DE
ABELHAS DE DIFERENTES FLORADAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Área de concentração: Processos Bioquímicos
Orientador: Prof. Dr. João Nunes de Vasconcelos

Maceió
Julho de 2011

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto

L732p Lima, Tatiane de Omena Lima.
Produção artesanal de aguardente de mel de abelhas de diferentes floradas /
Tatiane de Omena Lima. Maceió, 2011.
106 f. : il., tabs. e graf.

Orientador: João Nunes de Vasconcelos.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de
Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2011.

Bibliografia: f. 96-102
Inclui anexo.

1. Abelha – Produtos. 2. Aguardente. 3. Etanol – Fermentação.
4. Alambique de cobre. I. Título.

CDU: 663.5

Tatiane de Omena Lima

**PRODUÇÃO ARTESANAL DE AGUARDENTE DE MEL DE
ABELHAS DE DIFERENTES FLORADAS**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Alagoas, como requisito para a
obtenção do Título de Mestre em Engenharia
Química

Aprovada em: Maceió, 28 de Julho de 2011.

BANCA EXAMINADORA

João Nunes de Vasconcelos

Prof. Dr. João Nunes de Vasconcelos
(PPGEQ/UFAL – Orientador)

Antônio Osimar S. Silva

Prof. Dr. Antônio Osimar Sousa da Silva
(PPGEQ/UFAL)

Luciana Cristina Lins de Aquino

Prof^a. Dr^a. Luciana Cristina Lins de Aquino
(UFS – Membro Externo)

A minha sogra Amara Nascimento e ao meu sogro Valdemir Nilton (in memoriam), pela amizade, colaboração e incentivo em todos os momentos.

Aos meus queridos filhos Nicolás e Natânael.

Dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que iluminou o meu caminho durante toda esta caminhada.

À Universidade Federal de Alagoas e ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia Química, pela oportunidade do título de mestre.

Ao professor orientador Dr. João Nunes de Vasconcelos, que acreditou no meu trabalho e me apoiou apesar de todas as minhas dificuldades e barreiras.

Aos meus pais e irmãos, que foram fatores essenciais em todos os momentos da minha vida, dando apoio, me incentivando e me encorajando quando mais precisei.

Ao meu esposo Nilton, que diante dos momentos de desânimo e cansaço, soube ter paciência e carinho.

Aos meus familiares que sempre me deram força, valorizando meus potenciais.

Ao Amaury Calheiros e João Paulo Paes, os anjos do laboratório, que sempre me ajudaram nas análises.

Aos meus colegas, e em especial Elenice Mendes, Thalyta Christie, Daniel Fernandes, Ramon Ribeiro, Karly e Gerlan pela boa convivência e pela força em momentos difíceis.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEL) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Profissional de Ensino Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro.

À Usina Sumaúma e a Gilvânia pela realização das análises do teor alcoólico pelo densímetro digital Anton-Paar.

Aos colaboradores J. Jackson P. da Silva (O Cortiço), Mário Calheiros (A Colméia), por ter cedido os méis-de-abelhas e Joaquim Gomes Neto, pela cana-de-açúcar cedida.

Ao querido Fabiano Quirino pela cooperação para a finalização deste trabalho.

A todas as pessoas que, de alguma maneira, contribuíram para a realização deste trabalho.

“(...) o conhecimento também vem do Senhor todo poderoso, os seus planos são maravilhosos e ele é sábio em tudo o que faz”

Isaías 28.29

RESUMO

Este estudo objetivou a produção artesanal, em alambique de cobre, de aguardentes de mel de abelhas de diferentes floradas, de caldo de cana-de-açúcar, de mel de abelhas de cana-de-açúcar e de mostos mistos (caldo de cana-de-açúcar e mel de abelhas de diferentes floradas) e posterior envelhecimento em barris de carvalho. Os ensaios foram conduzidos misturando-se 75% de mosto com 25% de inóculo (30L e 10L, respectivamente). Os mostos foram de caldo de cana-de-açúcar, de mel-de-abelhas de 7 diferentes floradas e mistos (sempre na proporção de 50%, em volume, para cada uma das partes). Foram retiradas amostras de mosto e de vinho, quantificando-se pH, acidez sulfúrica, ART, Brix e, também, teor de etanol no vinho. Na condução das alambicadas, foram retiradas 3 frações: de cabeça (8%), de coração (84%) e de cauda (8%), quantificando-se pH, densidade, teor alcoólico, extrato seco e acidez acética. As temperaturas de operação do alambique foram: fração de cabeça, com temperaturas inicial e final, respectivamente iguais a 89,3 e 93,0°C; fração de coração, 93,0 e 96,0°C e fração de cauda, 96,0 e 97,0°C. A duração de cada etapa foi de cerca de 25 minutos, 70 minutos e 23 minutos, respectivamente, e os volumes obtidos foram 500mL, 5380mL e 500mL, na mesma ordem. Durante o envelhecimento, foram quantificados, mensalmente, teor alcoólico, acidez acética, pH, extrato seco, densidade, taxa de evaporação, aspecto visual e cor. Os resultados obtidos indicaram que é possível a produção de aguardente de mel de abelhas de diferentes floradas, com características físico-químicas adequadas. A produção de aguardente utilizando-se mostos mistos resultou em bebida com características físico-químicas diferenciadas em relação à da cana-de-açúcar e semelhantes às obtidas com os respectivos méis puros. Esta mistura reduz os custos de produção da aguardente, quando se compara com a produzida a partir de méis puros. Quando se trabalhou com mosto de mel de abelhas, o que apresentou melhor eficiência de fermentação foi o mel G (florada mista, oriundo do estado do Ceará). Porém, quando se trabalhou com mosto misto, o melhor desempenho foi obtido com o mel C (florada mista, oriundo do Município de Pão-de-Açúcar – AL).

Palavras - chave: Mel de abelhas. Aguardente. Fermentação Etanólica. Alambique de cobre.

ABSTRACT

This study aimed to craft production in copper stills, the spirits of honey of different flowers, juice of sugar cane, honey bees, sugar cane and grape mixed (juice of cane sugar and honey from different flowers) and subsequent aging in oak barrels. The tests were conducted by mixing 75% juice with 25% inoculum (30L and 10L, respectively). The grape juice were cane sugar, honey bees-of-seven different flowers and mixed (where the ratio of 50% by volume for each party). Samples were taken must and wine, quantifying pH, sulfuric acid, ART, Brix, and also ethanol content in wine. In conducting fetched, three fractions were taken: head (8%), heart (84%) and tail (8%), quantifying pH, density, alcohol content, dry extract and acetic acid. The operating temperatures of the still were split head, with initial and final temperatures respectively equal to 89.3 and 93.0 ° C; fraction of heart, 93.0 and 96.0 ° C and split tail, 96.0 and 97, 0 ° C. The duration of each step was about 25 minutes, 70 minutes and 23 minutes respectively, and volumes were obtained 500mL, 500mL and 5380mL in the same order. During aging, were measured monthly, alcoholic, acetic acid, pH, solids, density, evaporation rate, visual appearance and color. The results indicated that it is possible to produce brandy honey from different flowers, with appropriate physical and chemical characteristics. The production of grape brandy using resulted in mixed drink with different physical and chemical characteristics in relation to the sugar cane and similar to those obtained with the respective pure honey. This mixture reduces the production costs of brandy, when compared with that produced from pure honey. When we worked with the honey wine, which showed better fermentation efficiency was honey G (mixed flora, from the state of Ceará). However, when working with mixed wine, the best performance was obtained with Mel C (mixed flora, native of the City of Pão de Açucar - AL).

Keywords: honey bees. Brandy. Ethanolic fermentation. Copper still.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mel no favo.....	18
Figura 2 - Abelha colhendo pólen e néctar para a produção de mel.....	19
Figura 3 - Variedades de cores de mel-de-abelhas em potes de plástico.....	19
Figura 4 - Colmos de Cana-de-açúcar.....	25
Figura 5 - Fermentação alcoólica.....	27
Figura 6 - A via Glicolítica	29
Figura 7 - Redução do ácido pirúvico.....	30
Figura 8 - Esquema simplificado da célula em atividade de fermentação alcoólica.....	32
Figura 9 - Levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	34
Figura 10 - Classificação das leveduras.	34
Figura 11 - <i>Saccharomyces cerevisiae</i> em reprodução.	45
Figura 12 - Alambique de cobre.....	46
Figura 13 - Barril de carvalho.....	50
Figura 14 - Mel A = Florada de juazeiro, oriundo de Viçosa-AL; Mel B = Florada mista (Coopmel); Mel C = Florada mista, oriundo do Município de Pão-de-Açúcar-AL, Mel D = Florada mista, oriundo do Estado do Piauí; Mel E = Florada mista, oriundo do Município de Delmiro Gouveia-AL; Mel F = Oriundo do Município do Pilar- AL, com abelhas alimentadas com sacarose dos colmos de cana-de-açúcar após o corte; Mel G = Florada mista, oriundo do Estado do Ceará.....	54
Figura 15 - Alambique utilizado para obtenção da aguardente.....	55
Figura 16 - Vista lateral do barril de carvalho utilizado para o envelhecimento da aguardente obtida.....	56
Figura 17 - Barril de carvalho utilizado para o envelhecimento da aguardente obtida.....	56
Figura 18 - Área de envelhecimento das aguardentes obtidas em barris de carvalho de 5L cada.....	56
Figura 19 - Determinação do pH do mosto e do vinho.....	57

Figura 20 - Determinação do pH das aguardentes obtidas e em processo de envelhecimento.	57
Figura 21 - REDUTEC utilizado para determinação de ART.	58
Figura 22 - Determinação da acidez sulfúrica por titulação.	59
Figura 23 - Microdestilador de Etanol.	60
Figura 24 - Valores dos ART dos mostos utilizados nos ensaios experimentais.	66
Figura 25 - Brix dos vinhos referentes aos diferentes tipos de mosto utilizados nos ensaios experimentais.....	66
Figura 26 - ART dos vinhos referentes aos diferentes tipos de mosto utilizados nos ensaios experimentais.....	67
Figura 27 - Teor alcoólico dos vinhos.	68
Figura 28 - Valores do pH dos mostos utilizados nos ensaios experimentais.	69
Figura 29 - Valores do pH dos vinhos utilizados nos ensaios experimentais.	69
Figura 30 - Valores das eficiências de fermentação para os diversos tipos de mel de abelhas utilizados nos ensaios experimentais.	70
Figura 31 - Valores das eficiências do processo fermentativo para os diversos tipos de mel de abelhas utilizados nos ensaios experimentais.	70
Figura 32 - Acidez Acética das frações obtidas na produção de aguardente.....	75
Figura 33 - pH das frações obtidas na produção de aguardente.	76
Figura 34 - Densidade das frações obtidas na produção de aguardente.....	77
Figura 35 - Teor alcoólico das frações obtidas na produção de aguardente.....	78
Figura 36 - Extrato seco das frações obtidas na produção de aguardente.....	79
Figura 37 - Acidez Acética das aguardentes brancas.....	80
Figura 38 - Acidez Acética das aguardentes em processo de envelhecimento em barris de carvalho de 5 litros.....	81
Figura 39 - pH das aguardentes brancas Erro! Indicador não definido	82

Figura 40 - pH das aguardentes em processo de envelhecimento em barris de carvalho de 5 litros.....	82
Figura 41 - Densidade das aguardentes brancas	83
Figura 42 - Densidade das aguardentes em processo de envelhecimento em barris de 5 litros.....	84
Figura 43 - Teor Alcoólico das aguardentes brancas.....	86
Figura 44 - Teor Alcoólico das aguardentes em processo de envelhecimento em barris de carvalho de 5 litros.....	86
Figura 45 - Cor das aguardentes em processo de envelhecimento em barris de carvalho de 5 litros.....	88
Figura 46 - Taxa de evaporação das aguardentes em processo de envelhecimento em barris de 5 litros.	89
Figura 47 - Extrato Seco das aguardentes brancas e em processo de envelhecimento em barris de 5 litros.	90
Figura 48 - Extrato Seco das aguardentes em processo de envelhecimento em barris de 5 litros.	90
Figura 49 - Aguardente em processo de envelhecimento, obtida com o mel B, nos primeiros 6 meses de envelhecimento em barril de carvalho de 5 litros de capacidade.....	91
Figura 50 - Aguardente em processo de envelhecimento, obtida com o mel B + Caldo, nos primeiros 6 meses de envelhecimento, em barril de carvalho de 5 litros de capacidade.....	91
Figura 51 - Aguardente em processo de envelhecimento, obtida com Caldo de cana-de-açúcar, nos primeiros 6 meses de envelhecimento em barril de carvalho de 5 litros de capacidade.	92
Figura 52 - Aguardente em processo de envelhecimento, obtida com o mel A, nos primeiros 6 meses de envelhecimento em barril de carvalho de 5 litros de capacidade.....	102
Figura 53 - Aguardente em processo de envelhecimento, obtida com o mel B, nos primeiros 6 meses de envelhecimento em barril de carvalho de 5 litros de capacidade.....	102

Figura 54 - Aguardente em processo de envelhecimento, obtida com o mel F, nos primeiros 6 meses de envelhecimento em barril de carvalho de 5 litros de capacidade.....	104
Figura 55. Aguardente em processo de envelhecimento, obtida com o mel G, nos primeiros 6 meses de envelhecimento em barril de carvalho de 5 litros de capacidade.....	104
Figura 56. Aguardente em processo de envelhecimento, obtida com Caldo de Cana-de-Açúcar, nos primeiros 6 meses de envelhecimento em barril de carvalho de 5 litros de capacidade.	104
Figura 57. Aguardente em processo de envelhecimento, obtida com o mel A + Caldo, nos primeiros 6 meses de envelhecimento em barril de carvalho de 5 litros de capacidade.....	105
Figura 58. Aguardente em processo de envelhecimento, obtida com o mel B + Caldo, nos primeiros 6 meses de envelhecimento em barril de carvalho de 5 litros de capacidade.....	105
Figura 59. Aguardente em processo de envelhecimento, obtida com o mel F + Caldo, nos primeiros 6 meses de envelhecimento em barril de carvalho de 5 litros de capacidade.....	105
Figura 60. Aguardente em processo de envelhecimento, obtida com o mel G + Caldo, nos primeiros 6 meses de envelhecimento em barril de carvalho de 5 litros de capacidade.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química do mel-de-abelhas	221
Tabela 2. Composição do mel de abelhas de cana-de-açúcar.....	24
Tabela 3. Classificação botânica da cana-de-açúcar	25
Tabela 4. Características físicas e químicas da aguardente de cana-de-açúcar estabelecidas pela legislação brasileira	43
Tabela 5. Composição tecnológica do mel de abelhas de diferentes floradas e do caldo de cana-de-açúcar, utilizados nos ensaios experimentais.....	64
Tabela 6. Análises físico-químicas dos mostos utilizados nos ensaios experimentais para a produção de aguardente	72
Tabela 7. Resultados dos meios fermentados, referentes aos mostos utilizados nos ensaios para a produção de aguardente	74

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 MATÉRIAS – PRIMAS	19
2.1.1 Mel-de-abelhas	19
2.1.1.1 Composição Química do Mel de Abelhas	21
2.1.2 Cana-de-açúcar	25
2.1.2.1 Composição química do caldo de cana	26
2.2 FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA	26
2.2.1 Breve histórico	26
2.2.2 Definição	28
2.2.2.1 Processo de degradação da glicose	29
2.2.2.2 Produtos secundários da fermentação	29
2.2.3 Agente da fermentação alcoólica	30
2.2.3.1 Reprodução das leveduras	33
2.2.3.2 A levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	34
2.2.4 Fases da fermentação etanólica	35
2.2.4.1 Fase preliminar	35
2.2.4.2 Fase tumultuosa	35
2.2.4.3 Fase complementar ou pós-fermentação	35
2.2.5 Fatores Físicos e Químicos que influenciam na fermentação alcoólica	36
2.2.5.1 Concentração dos açúcares	36
2.2.5.2 Nutrientes	36
2.2.5.3 pH e acidez	37
2.2.5.4 Agitação	37
2.2.5.5 Concentração de oxigênio	38
2.2.5.6 Temperatura	38
2.2.5.7 Concentração de células	38
2.2.6 Formas de condução da fermentação alcoólica	39
2.2.6.1 Fermentação descontínua (batelada)	39
2.3 AGUARDENTE	39
2.3.1 Classificação das bebidas alcoólicas e das aguardentes	39

2.3.2 Definição	40
2.3.3 Etapas da produção das aguardentes	43
2.3.3.1 Preparo dos mostos.....	43
2.3.3.2 Preparo do fermento	44
2.3.3.3 Fermentação alcoólica	45
2.3.3.4 Destilação	46
2.3.4 Envelhecimento	47
2.3.4.1 Coloração	48
2.3.4.2 Redução de volume	48
2.3.4.3 Extrato	49
2.3.4.4 Tratamento de tonéis novos	49
2.3.4.5 Espécies de madeiras.....	49
2.3.4.6 Alterações do teor alcoólico do destilado.....	50
3 OBJETIVOS	52
3.1 OBJETIVO GERAL	52
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	52
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	53
4.1 METODOLOGIA	53
4.1.1 Preparo das amostras.....	53
4.1.1.1 Microrganismo	53
4.1.1.2 Obtenção dos méis de abelhas e de cana-de açúcar.....	52
4.1.1.3 Meio de Fermentação	53
4.1.2 Condução das fermentações e das destilações	54
4.1.2.1 Definição da melhor concentração de ART nos mostos.....	53
4.1.2.2 Produção das aguardentes.....	53
4.1.2.3 Envelhecimento.....	55
4.1.3 Metodologias analíticas	57
4.1.3.1 Determinação do pH	57
4.1.3.2 Determinação de Açúcares Redutores Totais (ART).....	58
4.1.3.3 Determinação da Acidez Acética	59
4.1.3.4 Determinação da Acidez Sulfúrica	59
4.1.3.5 Determinação de Sólidos Solúveis (Brix).....	59

4.1.3.6 Determinação do Teor Alcoólico	59
4.1.4 Parâmetros de fermentação	60
4.1.4.1 Eficiência do processo fermentativo (η_P)	60
4.1.4.2 Eficiência da fermentação (η_B)	60
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
5.1 RESULTADOS OBTIDOS PARA A DEFINIÇÃO DA MELHOR CONCENTRAÇÃO DE ART NOS MOSTOS	63
5.2 RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS PARA PRODUÇÃO DE AGUARDENTE	72
5.3 RESULTADOS OBTIDOS NO PROCESSO DE ENVELHECIMENTO DAS AGUARDENTES	79
6 CONCLUSÃO	94
SUGESTÕES	95
REFERÊNCIAS	96
APÊNDICE	102

1 INTRODUÇÃO

O mel é um produto natural produzido por abelhas, de composição variável em função da flora, do lugar, época de colheita, manejo e, principalmente, da espécie da abelha que o produziu (ALVIN, 2001).

Sendo Alagoas um dos produtores de cana-de-açúcar mais importantes do Brasil, esta alternativa particularmente é interessante por existirem atualmente cerca de 7.000 micros e pequenos produtores desta gramínea. A produção de mel de abelhas de cana de açúcar, ou seja, o mel produzido com abelhas sendo alimentadas com a sacarose dos colmos da cana-de-açúcar após o corte, pode se tornar alternativa econômica interessante, com geração de emprego e renda, contribuindo para redução do êxodo rural.

Cerca de 30% da produção de cana-de-açúcar de Alagoas se deve a aproximadamente 7.000 micro e pequenos agricultores. Mesmo com esta pequena produção, predomina na maioria os fornecedores de cana com até 500 toneladas, emprega milhares de trabalhadores, em sua maioria sem nenhuma qualificação profissional, o que cria dificuldades para a absorção destas pessoas em outras atividades. Em épocas de crise, a situação fica dramática para os micro, pequenos e médios fornecedores de cana, que ficam sem alternativas econômicas que viabilizem a manutenção de renda que traga sustento às suas famílias. Além disso, o desemprego acarreta graves conseqüências sociais, com aumento do êxodo rural. As grandes cidades, sem infra-estrutura para absorção destes desempregados, sofrem graves conseqüências.

O alambique usado para a produção da aguardente tem as mesmas características e funcionamento dos que operam comercialmente, só que com capacidade nominal de produção menor. Desta forma, toda a metodologia analítica e operacional desenvolvida neste estudo poderá ser adotada sem modificações por unidades comerciais, ou seja, este projeto será a primeira etapa de apoio aos micros e pequenos fornecedores de cana-de-açúcar de Alagoas, que possam produzir mel de abelhas de cana-de-açúcar, membros da Associação dos Produtores de Cachaça de Alambique e Outros Derivados da Cana-de-Açúcar de Alagoas – APROCAL. Por outro lado, associações de apicultores poderão dispor desta tecnologia para

diversificar seus produtos, produzindo aguardente de mel de abelhas de diferentes floradas, gerando emprego e renda.

A produção de mel de abelhas de cana-de-açúcar e sua posterior transformação em aguardente, pode se tornar alternativa de geração de emprego e renda para muitos micros e pequenos produtores rurais de cana-de-açúcar.

Este estudo foi desenvolvido nas instalações físicas da Unidade Experimental de Produção de Derivados da Cana-de-Açúcar – UEPDCA, que dispõe de estrutura adequada para a realização de trabalhos desta natureza, pois já desenvolve estudos de produção e envelhecimento de aguardente de cana-de-açúcar em barris de diferentes tipos de madeira, dispondo de alambiques de cobre de 180L, 40L e 18L, respectivamente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MATÉRIAS – PRIMAS

2.1.1 Mel-de-abelhas

O mel é produto alimentício produzido pelas abelhas melíferas, a partir do néctar das flores, das secreções procedentes de partes vivas das plantas ou de excreções de insetos sugadores de plantas que ficam sobre partes vivas de plantas. As abelhas recolhem, transformam, combinam com substâncias específicas próprias, armazenam e deixam maturar nos favos da colméia (BRASIL, 2000). Na Figura 1 visualiza-se a cor do mel quando ele ainda está no favo.

Figura 1 - Mel no favo.



Fonte: (<http://www.apiarioballoni.com.br>), acesso em 24/10/2010.

Catalan (1981) afirma que o mel puro deve apresentar aspecto líquido, denso, viscoso e cor, que poderá variar do amarelo ao amarelo avermelhado, com cheiro próprio, sabor doce e característico.

Segundo Campos (1987), o mel não deve ser caracterizado diretamente como de origem animal, já que o mel-de-abelhas é elaborado a partir de matérias-primas coletadas em campo e não secretado. Ele enfatiza que, depois de processado o produto final está sujeito à sua origem, com características dependentes das matérias-primas (açúcares, minerais e vitaminas, entre outros), que serão a base para a composição final do mel.

O mel apresenta variação na coloração, no sabor e no aroma, em função da sua origem floral. Comercialmente o mel pode ser classificado de acordo com sua origem botânica e procedimento de obtenção (BRASIL, 2000). A Figura 2 mostra uma abelha em processo de coleta de néctar e pólen para produção de mel.

Figura 2 - Abelha colhendo pólen e néctar para a produção de mel.



Fonte: (<http://www.apiarioballoni.com.br>), acesso em 24/10/2010.

Segundo Pereira et al. (2003), os estudiosos também classificam o mel de abelhas:

a) pela qualidade, considerando-se as diferentes floradas, como por exemplo, mel de laranjeiras, mel de carqueja, mel de eucalipto, etc.;

b) de acordo com sua densidade: mel fluido, mel cristalizado, mel virgem ou mel pasteurizado;

c) de acordo com a apresentação, conforme a embalagem, em mel acondicionado em vidros ou sacos plásticos.

A coloração do mel depende quase que, exclusivamente, da origem da flor, podendo ser claro, vermelho, dourado ou escuro (Figura 3).

Figura 3 - Variedades de cores de mel-de-abelhas em potes de plástico.



Fonte: (<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mel/SPMel/mel.htm>), acesso em 23/10/2010.

Segundo Alvim (2004) o néctar das flores, açúcares dissolvidos secretados pelos nectários e colhido pelas abelhas são as principais fontes do mel. O apicultor faz a tipificação do mel através do sabor e aroma. O mel denominado como de eucalipto é aquele cuja predominância aromática e sabor são originários do néctar das flores de eucalipto, embora outros néctares possam ter contribuído para a formação deste mel. Quando a origem do néctar não pode ser identificada, o mel é tipificado como sendo silvestre ou de plantas nativas (mel de plantas diversas do mato) ou outra origem como mel de flores dos campos tratando-se de plantas rasteiras e arbustos de porte baixo, ervas dos campos, capoeiras, etc.

O néctar é composto naturalmente de água, açúcares, amido e sais minerais. A sacarose e glicose são os dois principais açúcares existentes no néctar em proporções variáveis (SOUZA, 2006).

Alguns fatores como a fonte de néctar que o originou, clima, tipo de solo e também a espécie da abelha que o produziu, são alguns dos fatores que diferenciam os diferentes tipos de mel de abelhas (MELLO, 1989; PEREIRA et al., 2003).

O mel de abelhas apresenta em sua composição uma grande quantidade de componentes, destacando-se os açúcares, dos quais os monossacarídeos, frutose e glicose, somam 70% do total, os dissacarídeos, incluindo a sacarose, 10%. A água representa de 17 a 20% além de mais 181 substâncias diferentes identificadas, algumas inexistentes em outras fontes (CRANE, 1983).

A origem botânica da fração polínica do mel é importante para classificar o mel e relacionar suas propriedades à (às) espécie (s) que o originaram. De acordo com a CBA (2004), 70% da produção nacional são méis silvestres, com 173 plantas melíferas catalogadas. O “mel floral” é o obtido do néctar das flores, enquanto o “mel de melato” é o obtido de secreções de partes vivas de plantas ou de excreções de insetos sugadores de partes vivas das plantas.

2.1.1.1 Composição Química do Mel de Abelhas

Segundo Sodré (2005), nas regiões tropicais onde existe flora apícola bastante diversificada, associada a taxas elevadas de umidade e temperatura, as características físico-químicas e microbiológicas do mel são relativamente pouco

conhecidas. Para ele, no Brasil, devido à grande diversidade na flora apícola, torna-se necessária a caracterização e, posteriormente, criação de padrões do mel, considerando-se os fatores vegetais e climáticos das respectivas regiões onde são produzidos. Nos Estados do Ceará e Piauí, o mel destaca-se pela excelente qualidade. No entanto, os produtos apícolas são muito sensíveis a contaminações ambientais, pois o néctar e o pólen são originários das flores, que estão permanentemente expostas às chuvas e ventos, além de locais com depósitos de lixo que são visitados pelas abelhas, podendo gerar contaminações por microrganismos e produtos químicos tóxicos.

Brasil (2000), trabalhando com mel, verificou variações nas suas composições física e química. Ele enfatizou que essas mudanças ocorrem devido alguns fatores que interferem na sua qualidade, como estágio de maturação, condições climáticas, espécie de abelha, processamento e armazenamento, além do tipo da florada.

Na constituição do mel (Tabela 1) encontra-se a glicose, a frutose, minerais, enzimas, água e partículas sólidas provenientes da colheita.

Tabela 1- Composição química do mel-de-abelhas

Componente	Percentual
Água	17,7%
Glicose	34,0%
Frutose	40,5%
Sacarose	1,9%
Cinzas (minerais)	0,18%
Outros (grãos de pólen, partículas de cera, enzimas)	5,72%

Fonte. SOUZA, 2008.

Outros fatores podem afetar a composição do mel, como raça de abelhas, natureza do solo, estado fisiológico da colônia, estado de maturação do mel, condições meteorológicas, entre outros (SERRANO et al., 1994).

Os componentes, bem como os seus percentuais, podem variar de acordo com a origem floral e o grau de maturação do mel. A seguir serão feitas considerações gerais sobre os principais componentes dos méis de abelhas.

- **Água**

De acordo com a legislação brasileira, o valor máximo de água no mel é de 20%, sendo normal 17%. Valores acima de 18% podem comprometer sua qualidade final, apesar de já terem sido encontrados, por diversos pesquisadores, números muito acima dos citados, para vários tipos de mel (AZEREDO e AZEREDO 1999; SODRÉ, 2000; MARCHINI, 2001).

Os méis apresentam vários níveis de umidade. Em valores elevados, o mel pode fermentar na presença de leveduras osmofílicas (tolerantes ao açúcar), presentes no mel (CRANE, 1983).

Para Pereira et al. (2003), esse processo de fermentação pode ocorrer mais facilmente em méis que são colhidos de favos que não tiveram seus alvéolos devidamente operculados pelas abelhas. Esses méis são chamados de "verdes" e, nessa condição, o mel apresenta teor elevado de água. Ele enfatiza que, para o mesmo mel operculado, pode ter níveis acima de 18% de água, caso o apiário esteja localizado em região com umidade relativa do ar superior a 60%. O mel pode ainda fermentar quando há má assepsia, durante a extração, manipulação e envase.

- **Enzimas**

As abelhas adicionam enzimas ao néctar onde ocorrem mudanças químicas, aumentando a quantidade de açúcar. Para Pereira et al. (2003), a ação enzimática é fundamental para que essas mudanças ocorram.

Para Crane (1987), a adição da enzima invertase, pelas glândulas hipofaringeanas das abelhas, transforma $\frac{3}{4}$ da sacarose inicial do néctar coletado nos açúcares invertidos (glicose e frutose), é fundamental para que ocorra o "amadurecimento" total do mel.

Segundo Pereira et al. (2003), essa enzima permanece no mel, conservando sua atividade por algum tempo, desde que não inativada por aquecimento. Essa

inversão de sacarose em glicose e frutose produz solução mais concentrada de açúcares, aumentando a resistência à deterioração por fermentação. Ressalte-se que o conteúdo da sacarose do mel nunca chega à zero.

- **Proteínas**

Dependente do pólen da planta que deu origem ao mel, o teor protéico varia com a espécie apícola. Depende, também, do local da colméia onde o mel é extraído. Mel centrifugado apresenta teor de pólen muito baixo e, se for retirado de quadro de melgueira, todo operculado, o teor de pólen é aproximadamente zero. Mel centrifugado de quadros de ninho com pólen poderá ter até 0,3% de pólen, enquanto um espremido pode apresentar até 3% (MELLO, 1989).

Em estudos realizados por Costa et al. (1999) a prolina, aminoácido proveniente das secreções salivares das abelhas, é o que apresenta os maiores valores, variando entre 0,2% e 2,8%. Enfatizam que seu teor no mel, juntamente com a umidade, é parâmetro de identificação da "maturidade" do mel.

- **Ácidos**

Parte da estabilidade do mel frente à micro-organismos se deve aos ácidos orgânicos, que representam menos que 0,5% dos sólidos, que exercem efeito flavorizante pronunciado.

O mel de abelhas de cana-de-açúcar foi considerado como monofloral, haja vista que as abelhas se alimentam, principalmente, da sacarose proveniente da cana-de-açúcar. A composição deste tipo de mel é mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição do mel de abelhas de cana-de-açúcar

Componente	Percentual
Glicose	27,2
Frutose	41,9
Maltose	9,9
Sacarose	1,9

Fonte: ITAL

2.1.2 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é própria de climas tropicais e subtropicais, sendo uma gramínea pertencente ao gênero *Saccharum* e agrupada na espécie *Saccharum officinarum*. Segundo Oliveira (2007), o substrato produzido por este vegetal é o mais utilizado para produção de etanol, pela sua alta eficiência fotossintética e produção da energia necessária à sua industrialização.

A cana-de-açúcar (Figura 4) é importante fonte de renda e desenvolvimento no Brasil, pois é a principal matéria-prima para a fabricação de etanol e aguardente (DIOLA et al., 2010). A classificação botânica, segundo Maia e Campelo (2006), é apresentada na Tabela 3.

Figura 4 - Colmos de Cana-de-açúcar.



Fonte: (<http://alfredojunior.wordpress.com/2010/05/21/curiosidade-cana-de-acucar/>), acesso em 22/02/2011.

Tabela 3 - Classificação botânica da cana-de-açúcar

Classificação botânica	
Divisão	<i>Embryophita siphonograma</i>
Subdivisão	<i>Angiospermae</i>
Classe	<i>Monocotyledoneae</i>
Ordem	<i>Gramineae</i>
Tribo	<i>Andropogoneae</i>
Subtribo	<i>Saccharae</i>
Gênero	<i>Saccharum</i>
	<i>Saccharum officinarum</i> L.
Espécie	<i>Saccharum spontaneum</i> L. <i>Saccharum robustum</i> jewiet.

Fonte: Maia; Campelo, (2006)

Introduzida no Brasil em 1532, por Martim Afonso da Souza, a cana-de-açúcar veio da Ilha da madeira, sendo plantada inicialmente na capitania de São Vicente, onde foi implantado o primeiro engenho de açúcar do Brasil, cujo nome era São Jorge dos Erasmos. Após dois anos, foi instalado outro engenho, denominado Nossa Senhora da Ajuda, localizado na capitania de Pernambuco. A cultura passou a se expandir a partir destas duas capitanias, para a Bahia, Sergipe, Alagoas, Espírito Santo e Rio de Janeiro. A maior região produtora, durante mais de quatro séculos, foi a zona da mata do nordeste, especialmente o Estado de Pernambuco. Atualmente cultivada em 21 estados brasileiros, com destaque para São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Alagoas e Pernambuco (VASCONCELOS, 2010).

2.1.2.1 Composição química do caldo de cana

A composição da cana-de-açúcar depende de uma série de fatores: variedade, estágio de maturação, condições climáticas, adubação, altura do desponte, ferti-irrigação com vinhaça, estágio de sanidade da cultura, tempo entre o corte e o processamento, propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo, idade, entre outros. A cana é composta por aproximadamente 75% de água, 25% de matéria orgânica e 0,5% de material mineral. O caldo, extraído da cana-de-açúcar, contém cerca de 82% de água e 18% de sólidos solúveis (Brix), glicose \approx 0,2% e sacarose \approx 14%. Concentrações elevadas de açúcares redutores indicam cana “verde”, enquanto baixas concentrações indicam cana “madura”, própria para a industrialização (VASCONCELOS, 2010).

2.2 FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA

2.2.1 Breve histórico

A palavra fermentação significa ebulição, borbulhamento, sendo originada da

palavra latina “fervere”. Surgiu da observação do desprendimento de gás carbônico durante a fermentação de mosto de uva para a produção de vinho, tendo-se a impressão de que o meio em fermentação estava em ebulição (VASCONCELOS, 2010). A Figura 5 mostra o aspecto geral de uma fermentação alcoólica em andamento.

Figura 5 - Fermentação alcoólica.



Fonte:(http://www.cachacawerneck.com.br/p_qualidade_producao), acesso em 11/05/2011.

Sem o conhecimento de suas causas, o homem se beneficia das fermentações desde tempos pré-históricos. Segundo Vasconcelos (2010), há mais de 4000 anos os egípcios fabricavam o pão e produziam bebidas alcoólicas a partir de cereais e frutas. Lima et al. (2001) ressalta que só no século 17 a fermentação etanólica foi relacionada com a levedura, micro-organismo amplamente encontrado na natureza e com capacidade de sobrevivência tanto em condições aeróbias como anaeróbias.

As leveduras foram observadas pela primeira vez em um aparelho rudimentar, por Van Leeuwenhoek (1632-1723), a partir de uma amostra de cerveja em fermentação.

Segundo Lima et al. (2001) Após a formulação da estequiometria da fermentação etanólica por Gay-Lussac (1815), Pasteur (1863) demonstrou a sua natureza microbiológica, sendo um processo anaeróbico.

2.2.2 Definição

A fermentação alcoólica é o processo através do qual certos açúcares, principalmente a sacarose, glicose e frutose, são transformados em etanol. Nessa transformação, partindo-se da sacarose, ocorrem 12 reações em seqüência ordenadas, sendo cada reação catalisada por enzima específica, ocorrendo no citoplasma celular. Essas enzimas, referidas como "glicolíticas", sofrem ações de diversos fatores (nutrientes, minerais, vitaminas, inibidores, substâncias do próprio metabolismo, pH, temperatura e outros) (LIMA et al., 2001).

Segundo Maia e Campelo (2006), geralmente os organismos superiores são aeróbios, isto é, só sobrevivem em presença de oxigênio. Os micro-organismos são divididos em três classes:

- *Estritamente anaeróbios*: utilizam, exclusivamente, a primeira fase do metabolismo e só se reproduzem e sobrevivem na ausência de oxigênio, como por exemplo, diversas espécies de bactérias lácticas;
- *Estritamente aeróbios*: utilizam, necessariamente, a primeira e segunda fase do catabolismo e só se reproduzem e sobrevivem na presença de oxigênio, como por exemplo, diversas espécies de bactérias acéticas;
- *Facultativos*: utilizam padrões metabólicos adaptados para cada caso e se reproduzem e sobrevivem tanto na presença como na ausência de oxigênio.

Maia e Campelo (2006) enfatizam que as leveduras alcooleiras são facultativas e seu padrão metabólico caracteriza-se por:

- Reprodução na presença de oxigênio, em especial em ambiente livre de etanol;
- Sobrevivência na ausência de oxigênio, excretando etanol e gás carbônico como produtos finais da degradação do açúcar.

Uma das etapas mais importantes na fabricação de bebidas fermentadas é a fermentação alcoólica, que pode ser conduzida com várias leveduras, destacando-se a *Saccharomyces cerevisiae* (BARRE et al., 2000).

No processo de fermentação alcoólica, os principais produtos, álcool etílico e

gás carbônico, são produzidos em proporções equimolares, conforme a equação de Gay Lussac (VASCONCELOS, 1998).



Desde a descoberta de Buchner, no final do século 19, passaram-se mais de 4 décadas, até que o processo de fermentação etanólica fosse inteiramente desvendado. Os cientistas identificaram as onze etapas químicas da transformação da glicose em duas moléculas de álcool etílico e duas de gás carbônico (MOTA, 2009).

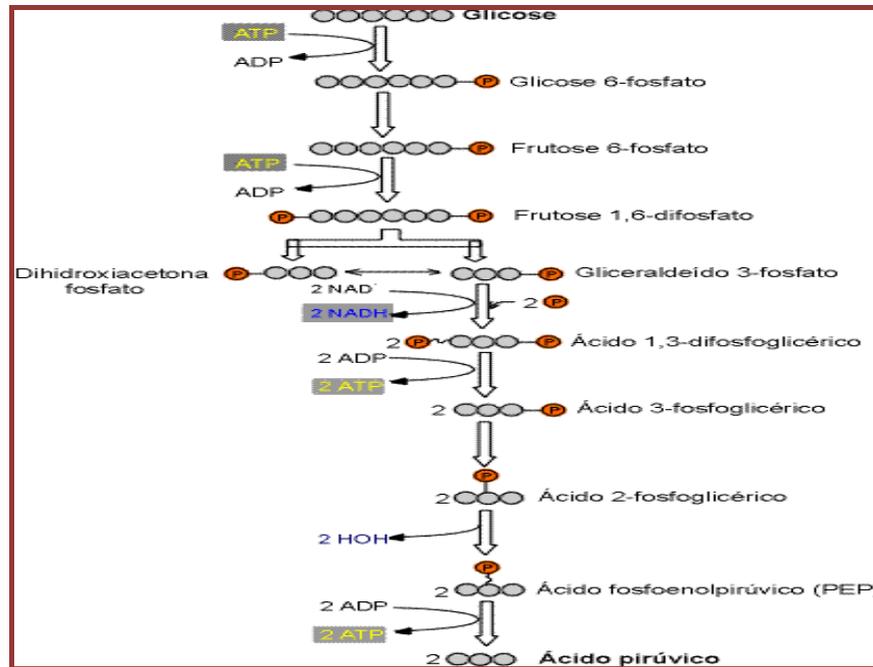
As reações iniciais de degradação da glicose, mostradas na Figura 6, comum a todos os tipos de fermentação, receberam a denominação de glicólise, que significa “quebra da glicose” (MOTA, 2009).

2.2.2.1 Processo de degradação da glicose

- Fase preparatória da glicose - de Glicose a Gliceraldeído-3-P + Dihidroxicetona.

Nesta fase, a glicose é ativada, para posterior quebra, com o consumo de 2 ATPs, representando “um investimento” por parte do organismo para a formação de compostos com maior energia livre de hidrólise. Duas fosforilações são realizadas, sendo a primeira, na primeira reação da sequência. Isto é importante para que a célula não perca nenhum intermediário do ciclo, após ter investido energia na glicose, haja vista que os compostos fosforilados (todos os intermediários da glicólise) não apresentam capacidade para atravessar as membranas livremente. Esta fase termina com a quebra da hexose em duas trioses (MOTA, 2009).

Figura 6 - A via Glicolítica.



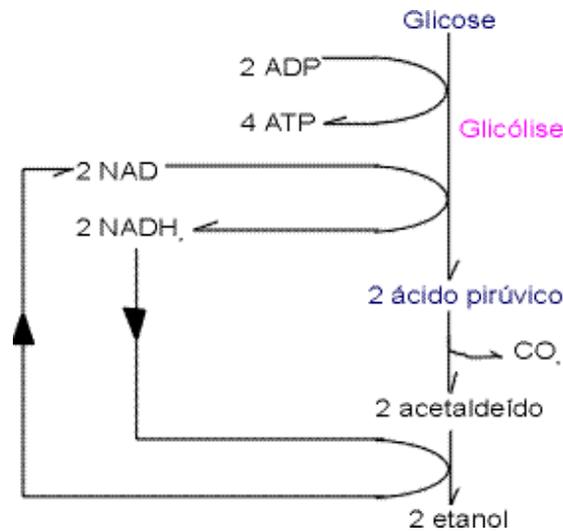
Fonte: (<http://www.fortunecity.com/greenfield/eco/813/mod2aula5.html>) acesso em 26/10/2010.

- Fase de produção de energia - de Gliceraldeído-3-P a Piruvato. Nesta etapa, são produzidos 4 ATP's, dois para cada mol de gliceraldeído – 3-P formado. Como na quebra da molécula da frutose 1,6 difosfato são produzidas 2 de gliceraldeído – 3- P, o total produzido é de 4 ATP's (Figura 6).

2.2.2.2 Produtos secundários da fermentação

Os principais produtos formados na fermentação etanólica, são o etanol e o CO₂. Segundo Lima et al., (2001), também são formadas pequenas quantidades de outros componentes, como por exemplo, glicerol, ácidos orgânicos (succínico, acético, pirúvico e outros), alcoóis superiores, acetaldeído, além de outros compostos de menor significado quantitativo. Paralelamente, há o crescimento das leveduras (formação de biomassa). A Figura 7 evidencia a redução do ácido pirúvico, com formação de etanol.

Figura 7 - Redução do ácido pirúvico.



Fonte: (<http://nanibio12.blogspot.com>), acesso em 22/10/2010.

2.2.3 Agentes da fermentação alcoólica

Microrganismos são seres vivos de pequenas dimensões, geralmente unicelulares. Por serem invisíveis a olho nu, só se tornaram conhecidos a partir da invenção do microscópio e dos trabalhos de *Leeuwenhoek* (1632-1723), primeiro cientista que os observou, descrevendo-os como *animalículos*. A princípio, foram classificados com base em suas características morfológicas (tamanho e forma). Atualmente, identificam-se famílias, gêneros, espécies, subespécies e cepas.

A produção de alimentos e bebidas fermentadas é uma aplicação de bactérias e fungos (bolors ou leveduras). Em diversos casos, o microrganismo indispensável para a produção de determinado alimento é contaminante que deprecia a qualidade de outro. Por exemplo, as bactérias produtoras de ácido lático são necessárias para a fabricação de leites e vegetais fermentados, porém depreciam a qualidade da cachaça. As bactérias produtoras de ácido acético são indispensáveis para a fabricação do vinagre, mas indesejáveis na produção de vinhos e bebidas destiladas. Portanto, a expressão “microrganismos contaminantes” (que alteram a composição e comprometem a qualidade sensorial de um alimento) não deve ser confundida com “microrganismos patogênicos” (que põe em risco a saúde do consumidor) (MAIA; CAMPELO, 2006).

A reprodução das leveduras é assexuada por brotamento multilateral e polar ou por fissão e sexuada, por meio de ascósporos. As características morfológicas das leveduras determinadas por microscopia mostram formas esféricas e ovóides, pera, cilíndrica e mesmo alongadas em pseudomicélio (CECCATO-ANTONINI, 2004).

Em geral, as células de leveduras são maiores do que as bactérias, mas as menores leveduras não são tão grandes como as maiores bactérias.

Esses microrganismos variam consideravelmente, no que se refere às suas dimensões, com limites desde 1 a 5 μ de largura e 5 a 30 μ de comprimento (CECCATO-ANTONINI, 2004). Dependendo do meio de cultivo, as leveduras apresentam dimensões variáveis, com formas que podem ser ovóides, esféricas ou elipsoidais. Ocorrem isoladas, aos pares e, ocasionalmente, formando pequenas cadeias ou cachos. Elas reproduzem-se vegetativamente por brotamento, formam esporos ovóides ou esféricos e fermentam vigorosamente (VASCONCELOS, 2010).

Segundo Ceccato-Antonini (2004), cada espécie tem uma forma característica, mas, mesmo em culturas puras, há consideráveis variações de tamanho e de forma das células individuais, dependendo da idade e do ambiente. As leveduras não possuem flagelos ou outros órgãos de locomoção. Apresentam partes visíveis como parede celular, citoplasma, vacúolos, glóbulos de gordura, grânulos e núcleo.

O microrganismo mais estudado para a produção de etanol é a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, seguida pela bactéria *Zymomonas mobilis*. Em escala industrial, no Brasil, predomina a levedura *Saccharomyces cerevisiae*.

As leveduras são microrganismos heterotróficos, unicelulares, aclorofilados e exemplos de organismos facultativos, pois apresentam os metabolismos anaeróbios e aeróbios. Em anaerobiose, a via metabólica é conduzida para formação de pouca biomassa e muito etanol e, em presença de oxigênio, ocorre o inverso (VASCONCELOS, 2010).

2.2.3.1 Reprodução das leveduras

A forma de reprodução das leveduras é por brotamento ou gemulação. Embora sobrevivam na ausência de oxigênio (condição necessária para a fermentação alcoólica), a reprodução é muito mais eficiente em presença de oxigênio, que lhes permite ativar o metabolismo respiratório (MAIA; CAMPELO, 2006). Sob a aeração eficiente, cada levedura pode gerar uma nova (célula filha) no intervalo de 30 minutos, até o limite de 12 células filhas. Cada uma já nasce “adulta”, iniciando rapidamente sua própria reprodução.

Na propagação, parte do açúcar é utilizada como fonte de energia, por intermédio da respiração, sendo convertida em gás carbônico e água. A outra parte é convertida em componentes da célula em “gestação”. A intensa aeração recomendada nesta etapa destina-se a evitar a formação de etanol, pois ele inibe o processo de propagação. Durante a fermentação, as leveduras reproduzem-se pouco, porque o metabolismo respiratório fica desativado. O metabolismo anaeróbio é que leva à conversão do açúcar do caldo de cana (sacarose) em etanol (e gás carbônico), transformando-o em “vinho” (MAIA; CAMPELO, 2006).

O etanol e o dióxido de carbono produzido pelas leveduras, durante o processo fermentativo, são produtos de excreção, sem utilidade metabólica para a célula em anaerobiose (Figura 8). O objetivo metabólico da levedura é gerar uma forma de energia, como adenosina trifosfato (ATP), que será empregada na realização de diversas atividades fisiológicas, como absorção e excreção, dentre outros e biossínteses necessárias à manutenção da vida, crescimento e multiplicação, perpetuando, assim, sua espécie (Lima et al., 2001).

Figura 8 - Esquema simplificado da célula em atividade de fermentação alcoólica.

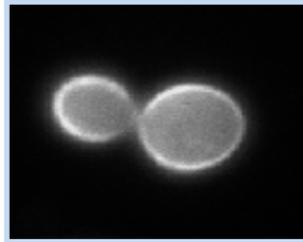


Fonte: (www.iq.unesp.br/flotacao/MODULO2/principal2.htm acesso em (20/10/2010))

2.2.3.2 A levedura *Saccharomyces cerevisiae*

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* (Figura 9) é largamente disseminada na natureza, porém a espécie é mais freqüentemente associada com as fermentações industriais, em particular as fermentações pra produção de bebidas alcoólicas e etanol carburante. A espécie é também empregada na produção de levedura de panificação (VASCONCELOS, 2010).

Figura 9 - Levedura *Saccharomyces cerevisiae*.



Fonte: ([www.e-esola.ptsitecanal.asp? canal=5.htm](http://www.e-esola.ptsitecanal.asp?canal=5.htm), acesso em 06/03/11)

A classificação das leveduras, segundo Maia e Campelo (2006), pode ser visualizada a seguir (Figura 10).

Figura 10 - Classificação das leveduras.

Classificação Científica:

Domínio: *Eukarya*

Reino: *Fungi*

Filo: *Ascomycota*

Classe: *Saccharomycetes*

Ordem: *Saccharomycetales*

Família: *Saccharomycetaceae*

Gênero: *Saccharomyces*

Espécie: *S. cerevisiae*

Fonte: (Maia; Campelo, 2006).

2.2.4 Fases da fermentação etanólica

Segundo Vasconcelos (2010) a fermentação alcoólica inicia-se após a mistura do inóculo (fermento) com o mosto, sendo dividida em três etapas principais, denominadas, respectivamente, fase preliminar, fase principal ou tumultuosa e fase final ou complementar.

2.2.4.1 Fase preliminar

A fase preliminar se inicia com o contato das leveduras com o mosto, sendo caracterizada pela pequena elevação da temperatura, pelo desprendimento de dióxido de carbono e pela multiplicação celular intensa. Segundo Lima et al. (2001), sua duração varia de acordo com o sistema de fermentação, podendo ser reduzida utilizando-se inóculo com concentração elevada de leveduras.

2.2.4.2. Fase tumultuosa

Com o término da pré-fermentação, inicia-se a fermentação principal ou tumultuosa, que é caracterizada por intensa produção de etanol, gás carbônico e calor, sendo a de maior duração. Nesta fase, há formação de espumas, aumento da acidez e diminuição da densidade do meio em fermentação, como consequência da conversão de açúcar em etanol. O meio em fermentação, devido ao intenso desprendimento de gás carbônico, agita-se como se estivesse em ebulição. (VASCONCELOS, 2010).

2.2.4.3 Fase complementar ou pós-fermentação

A queda na intensidade de desprendimento de CO₂ e a redução gradativa da temperatura caracterizam o início da pós-fermentação. Segundo Vasconcelos

(2010), no final desta fase a superfície do meio apresenta-se sem agitação e livre de espumas. Nessa fase a fermentação chega ao fim.

2.2.5 Fatores Físicos e Químicos que influenciam na fermentação alcoólica

Existem vários fatores que afetam o desempenho da fermentação alcoólica, destacando-se: concentração de açúcares, nutrientes, pH, agitação, oxigênio, temperatura, microrganismo agente.

2.2.5.1 Concentração dos açúcares

Os Açúcares Redutores Totais (ART) e o etanol, em determinadas concentrações, exercem efeito de inibição sobre o metabolismo das leveduras. Logo, o controle da adição de açúcares é de fundamental importância, não só para controlar ou mesmo minimizar efeitos inibitórios, mas, também, para aumentar a eficiência fermentativa e a produtividade (VASCONCELOS, 2010).

Segundo Lima et al. (2001), quando ocorre o aumento na concentração de açúcares, aumentam-se a velocidade de fermentação e a produtividade em etanol, limitando-se o crescimento das leveduras, que sofrem estresse osmótico devido aos elevados teores de açúcares.

2.2.5.2 Nutrientes

Segundo Vasconcelos (2010) a concentração adequada de nutrientes no mosto é um dos fatores mais importantes para uma boa condução da fermentação etanólica. Se presentes em quantidades inadequadas, maiores ou menores que as necessárias, os nutrientes podem proporcionar reflexos negativos sobre o desempenho da fermentação etanólica, afetando a multiplicação celular e a velocidade da fermentação. As leveduras necessitam de meio contendo fonte de carbono, como glicose e frutose; além disso, o meio deve ser fonte de vitaminas,

nitrogênio, fósforo, enxofre, potássio, magnésio, cálcio, zinco, ferro, cobre, cobalto, iodo e outros em menor quantidade.

2.2.5.3 pH e acidez

As leveduras são microrganismos acidófilos e trabalham bem em ampla faixa de pH. Segundo Vasconcelos (2010) o pH tem influência marcante nas fermentações industriais pela sua importância no controle de contaminação bacteriana. Nos processos com reutilização das leveduras, o inóculo é tratado nos pré-fermentadores, com ácido sulfúrico até pH entre 2,2 e 3,0, permanecendo em repouso por uma a três horas, antes de serem utilizadas em um novo ciclo de fermentação.

2.2.5.4 Agitação

A agitação mecânica é uma das operações mais importantes na condução da fermentação etanólica industrial, trazendo uma série de benefícios, como: menor gradiente de temperatura; menor tempo de fermentação (menor tempo de residência, no caso de condução contínua); maior produtividade em etanol; maiores eficiências fermentativa e de processo; maior uniformidade do produto; melhor desempenho das centrífugas; amostragem representativa e maior viabilidade celular (VASCONCELOS, 2010).

Segundo Vasconcelos (2010) um dos fatores mais importantes do uso da agitação mecânica na fermentação etanólica (como em qualquer processo fermentativo) é que, se esta operação for bem conduzida, o meio se torna homogêneo, a amostragem será representativa e poderá ser feita em qualquer local do fermentador.

2.2.5.5 Concentração de oxigênio

Segundo Vasconcelos (2010) a aeração tende a produzir menor quantidade de etanol, pois a levedura apresenta o efeito Pasteur, oxidando carboidratos por respiração, proporcionando maior multiplicação celular. Oxigênio é importante para a respiração celular, porém, para que o processo de fermentação ocorra adequadamente, as condições devem ser anaeróbias.

2.2.5.6 Temperatura

Segundo Lima et al. (2001) as temperaturas ótimas para a produção industrial de etanol situam-se na faixa de 26 a 35°C. Vasconcelos (2010) enfatiza que a temperatura pode chegar a 38-40°C, quando não há controle eficiente da temperatura do meio em fermentação.

Temperaturas elevadas favorecem o crescimento de bactérias e a evaporação do álcool (no caso de fermentadores que operam abertos). A temperatura exerce influência sobre o tempo de fermentação e o aparecimento de infecções indesejadas (VASCONCELOS, 2010).

2.2.5.7 Concentração de células

As altas concentrações de células conduzem a tempos de fermentação baixos, enquanto baixas concentrações levam a tempos de fermentações maiores. Elevadas concentrações de células proporcionam aumentos de produtividade e redução do tempo de fermentação, independentemente do modo de condução do processo fermentativo empregado.

2.2.5 Formas de condução da fermentação alcoólica

A condução dos processos fermentativos pode ser realizada de forma contínua e descontínua (batelada).

Na condução em batelada, o inóculo (fermento) é colocado na dorna de fermentação, adiciona-se então o mosto e, terminada a fermentação, o mosto fermentado (vinho) é enviado para a seção de separação (VASCONCELOS, 2010).

Quando a fermentação é contínua, após o enchimento de todos os fermentadores, normalmente dispostos em série, as operações de enchimento e descarga, diferentemente do processo em batelada, são realizadas de forma contínua. Desta forma, os tempos improdutivos, existentes na batelada, inexistem na contínua. Em função deste fato, as produtividades em etanol são maiores no processo contínuo, quando se compara com o processo em batelada.

2.2.6.1 Fermentação descontínua (batelada)

As fermentações descontínuas clássicas, ou simplesmente fermentações descontínuas, vêm sendo utilizadas pelo homem desde a antiguidade e, ainda hoje, são as mais empregadas para obtenção de vários produtos fermentados. São também conhecidas por fermentações por batelada ou processo descontínuo de fermentação (SCHMIDELL et al., 2001).

Existem diversas formas de condução da fermentação etanólica em batelada, classificadas basicamente em relação à reutilização ou não do microrganismo agente da fermentação. No nosso estudo, foi utilizada a batelada simples, sem reutilização do microrganismo agente da fermentação etanólica. Consta, basicamente, do seguinte procedimento: para cada ciclo de fermentação, prepara-se um inóculo novo que, após sua colocação no reator, adiciona-se mosto, também recentemente preparado. No final da fermentação, o meio fermentado é enviado para a seção de separação.

Segundo Schmidell et al. (2001) a fermentação descontínua pode levar a baixos rendimentos e/ou produtividades, quando o substrato adicionado de uma só

vez no início da fermentação exerce efeitos de inibição, repressão, ou desvia o metabolismo celular a produtos que não interessam. Por outro lado, apresenta menores riscos de contaminação (se comparados com processos contínuos de fermentação) assim como grande flexibilidade de operação, devido ao fato de poder utilizar os fermentadores para diferentes produtos.

2.3 AGUARDENTE

A produção atual de aguardente no Brasil destina-se em sua quase totalidade ao mercado interno, onde o consumo é um hábito amplamente difundido, especialmente entre a população de baixo poder aquisitivo, visto ser uma bebida de preço relativamente baixo. A parcela de produção destinada ao mercado externo é pouco significativa. Pesquisas apontam que alterações na qualidade da aguardente resultariam em uma melhor acolhida do produto não só pelos consumidores, como também por parte dos atuais não consumidores, além de propiciar condições para aumentar o volume de exportação (LIMA et al. 2001).

2.3.1 Classificação das bebidas alcoólicas e das aguardentes

Segundo Aquarone et al. (2001) são denominadas bebidas alcoólicas os líquidos potáveis que contêm de 0,5 a 75% de etanol em volume. O teor de etanol pode ser devido à fermentação, à destilação ou à adição.

As bebidas alcoólicas são agrupadas de acordo com a forma de sua obtenção. Assim:

a) *Bebidas fermentadas* – Preparadas por fermentação e operações posteriores de classificação e acabamento. Entre elas, o vinho (obtido de uvas), a sidra (obtida de maçã, pera ou de sua mistura), os vinhos de outras frutas, os fermentados obtidos de grãos e de outras partes de vegetais, de seiva e de fermentados de mel;

b) *Bebidas destiladas* – Obtidas por destilação de vinhos de frutas, de fermentados de grãos, tubérculos, raízes, de mel e de diversas substâncias açucaradas, como caldo de cana e subprodutos da indústria do açúcar;

c) *Bebidas alcoólicas por mistura ou compostos* – Obtidas por mistura de bebidas alcoólicas com sucos ou aromatizantes, misturas de mais de uma bebida alcoólica e destilação de bebidas alcoólicas em presença de aromatizantes.

Aquarone et al. (2001) enfatiza que as bebidas destiladas são normalmente as aguardentes, e segundo sua origem, são classificadas como:

- De frutas – Obtidas por destilação de fermentados de uva, de maçã de cereja e de ameixa, que recebem nomes específicos, e de vinhos de quaisquer outras frutas. Conhaque e pisco são exemplos.
- De amiláceos – Obtidas por destilação de fermentados de grãos de tubérculos e raízes, algumas com nomes específicos, como uísques e tiquira.
- De melaço de cana-de-açúcar – São obtidas por destilação de melaços fermentados de cana-de-açúcar, como os runs.
- De cana-de-açúcar – Obtidas por destilação do caldo da cana-de-açúcar, como a cachaça.

2.3.2 Definição

As aguardentes são bebidas alcoólicas obtidas por destilação de um líquido que contém etanol em sua composição e derivado da fermentação de açúcares contidos na matéria-prima. Na destilação do mosto fermentado, são destiladas algumas substâncias que acompanham o etanol, denominadas de impurezas, ou impurezas voláteis. Elas contribuem para conferir aos diferentes destilados suas características de aroma e sabor, que são modificadas ou intensificadas pela maturação, ou envelhecimento em tonéis de madeira, sob condições adequadas (AQUARONE et al. 2001). São bebidas fortes, de fácil conservação, de época e região de origem duvidosa, mas de uso geral e universal. Normalmente apresentam teor alcoólico de 38 a 54% (v/v), a 20°C. Comercialmente, é comum a graduação de 41% (v/v), a 20°C. Os gostos e aromas são diversos, assim como são as matérias-primas de que são obtidas, mas o efeito de seu uso é o mesmo.

Cachaça é a denominação exclusiva da aguardente de cana-de-açúcar produzida no Brasil, com teor alcoólico entre 38 e 48% (v/v), a 20°C. A aguardente de cana-de-açúcar pode ter grau alcoólico entre 38 e 54% (v/v), a 20°C, mas acima de 48% (v/v), a 20°C não pode ser denominada cachaça.

A aguardente de cana envelhecida refere-se à bebida que contiver, no mínimo, 50% de aguardente de cana envelhecida em recipiente de madeira apropriado, com capacidade máxima de 700 L, por período não inferior a um ano. A aguardente de cana *Premium* é o destilado 100% envelhecido em recipiente de madeira apropriado, com capacidade máxima de 700 L, por período mínimo de um ano. Já aguardente de cana extra premium é aquela 100% envelhecida em recipiente de madeira apropriado, com capacidade máxima de 700 L, por período mínimo de três anos (BRASIL, 2005).

As etapas para a produção da cachaça são as seguintes:

- preparo do mosto;
- propagação do fermento;
- fermentação;
- destilação.

Após a destilação a cachaça de alambique passa por alguns procedimentos, com o objetivo de apurar a qualidade: maturação, envelhecimento, ajuste final do teor alcoólico, filtração, dentre outros.

A qualidade da aguardente de cana é regulamentada segundo a Legislação Brasileira, Instrução Normativa nº 13 de 29/06/2005, que estabelece os seguintes padrões de identidade e qualidade, cujos percentuais são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Características físicas e químicas da aguardente de cana-de-açúcar estabelecidas pela legislação brasileira

Componente	Limites da legislação
Graduação alcoólica (% etanol v/v, a 20 °C)	38-54
Acidez volátil (mg ácido acético / 100 mL ⁻¹ álcool anidro)	máx 150
Ésteres (mg acetato de etila / 100 mL ⁻¹ álcool anidro)	máx 200
Aldeídos (mg aldeído acético / 100 mL ⁻¹ álcool anidro)	máx 30
Furfural + Hidroximetilfurfural (mg. / 100 mL ⁻¹ álcool anidro)	máx 5
Álcoois superiores (mg/100 mL ⁻¹ / álcool anidro)	máx 360
Congêneres (mg / 100 mL ⁻¹ álcool anidro)	200-650
Álcool metílico (mg / 100 mL ⁻¹ álcool anidro)	máx 20
Cobre (mg.L ⁻¹)	máx 5
Extrato seco (g.L ⁻¹)	máx 6

Fonte. Brasil, 2005

2.3.3 Etapas da produção de aguardentes

2.3.3.1 Preparo dos mostos

Um líquido açucarado pronto para ser fermentado é denominado mosto. Existem três tipos de mosto: de caldo, de melaço (melaço mais água) e misto (melaço mais caldo e, eventualmente, também água) (VASCONCELOS, 2010).

Segundo Vasconcelos (2010), o controle da diluição dos mostos é necessário pelos seguintes fatores:

- a) Mostos com baixas concentrações de açúcares conduzem a fermentações mais rápidas, porém com menor teor alcoólico no meio fermentado (vinho); favorecem o crescimento celular; aumentam o consumo de vapor e água; proporcionam maior volume de dornas; as infecções tornam-se mais fáceis, pelo menor poder antisséptico do etanol; são menores os problemas de limpeza; exigem maior capacidade dos aparelhos de destilação e consomem maior vapor do processo de destilação, bem como produzem maior volume de vinhaça;

- b) Mostos muito concentrados conduzem a fermentações incompletas, demoradas, com perdas de açúcares, que favorecem incrustações nos aparelhos de destilação, tendo como consequência queda de eficiência de destilação.

O preparo do mosto de caldo de cana-de-açúcar inicia-se logo após a moagem dos colmos, haja vista que sua qualidade é afetada por todos os procedimentos e condições a que é submetida. Ao ser cortada, a cana deve ser armazenada paralelamente em pequenos montes sobre o terreno, sendo transportada o mais rapidamente possível para uma área coberta, próxima à seção de moagem. Após o corte, é muito importante que a cana permaneça o menor tempo possível exposta ao sol. Segundo Maia e Campelo (2006), a luz e o calor favorecem a proliferação de bactérias, que aumentam a viscosidade do caldo, prejudicando acentuadamente o rendimento da fermentação e a decantação do fermento.

Segundo Vasconcelos (2010), qualquer que seja a matéria-prima utilizada na fabricação do etanol, é indispensável uma preparação prévia que a condicione às exigências das leveduras. Quanto mais essas matérias-primas se aproximam desse condicionamento, maior é a eficiência do processo fermentativo.

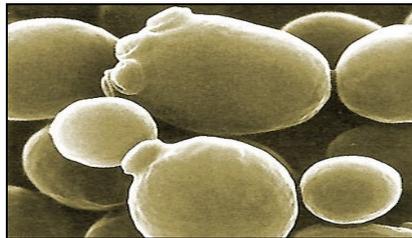
2.3.3.2 Preparo do fermento

A melhoria na produção de etanol passa obrigatoriamente pela seleção adequada do microrganismo agente da fermentação etanólica. Envolve, ainda, a seleção de leveduras com alta velocidade fermentativa, dominância e permanência durante a safra, boa capacidade fermentativa, elevada conversão de açúcares em etanol, pequena produção de glicerol, baixa formação de espuma, tolerância a altas concentrações de substrato e de etanol (Vasconcelos, 2010).

A figura 11 mostra o microrganismo mais estudado para a produção de etanol, a levedura *Saccharomyces cerevisiae*.

As leveduras da fermentação alcoólica se multiplicam por brotamento ou gemulação. Embora sobrevivam em ausência de oxigênio (condição necessária para a fermentação alcoólica), a reprodução é muito mais eficiente em presença de oxigênio, que lhes permite ativar o metabolismo respiratório.

Figura 11 - *Saccharomyces cerevisiae* em reprodução.



Fonte: (<http://fornodeensaio.blogspot.com/2010/10/fermento-para-pao-e-os-seus-metabolitos.html>), acesso em 22/02/11.

Na propagação, parte do açúcar é usada como fonte de energia, por intermédio da respiração, sendo convertida em gás carbônico e água. A outra parte é convertida em componentes da célula em “gestação”. A intensa aeração recomendada nesta etapa destina-se a evitar a formação de etanol, pois este inibe o processo de propagação. Durante a fermentação, as leveduras reproduzem-se pouco, porque o metabolismo respiratório fica desativado. O metabolismo anaeróbio é que leva à conversão do açúcar do mosto (sacarose) em etanol (e gás carbônico), transformando-o em “vinho”.

2.3.3.3 Fermentação alcoólica

As leveduras, pela fermentação, transformam o mosto em vinho. Segundo Maia e Campelo (2006), em ausência de oxigênio ou em condições de baixa oxigenação, o fermento utiliza os açúcares do mosto como fonte de energia para manter seu metabolismo vegetativo. Durante a fermentação, ocorre grande formação de gás carbônico, que é liberado para a atmosfera ambiente. A fermentação tem início quando o fermento, contido no fundo da dorna (pé-de-cuba), começa a ser alimentado pelo mosto. Cada ciclo de fermentação, para a fabricação

de aguardente, deve ser ajustado para que se complete no intervalo de 24 horas, facilitando a manutenção de uma rotina operacional. O pé-de-cuba corresponde a 20% do volume da dorna. Quanto maior a quantidade de fermento, mais rápida a conversão do açúcar em etanol e gás carbônico (MAIA; CAMPELO, 2006).

2.3.3.4 Destilação

Quando se aquece uma mistura de substâncias líquidas, a proporção entre as moléculas de cada substância que passa ao estado de vapor é diferente da preexistente no estado líquido, com teores mais altos nos componentes mais voláteis. Quando condensado, o novo líquido terá teores mais elevados nos componentes mais voláteis. No caso de uma mistura de etanol e água, principais componentes do vinho, os vapores são mais ricos em etanol, cujo ponto de ebulição é 78,5°C, refletindo uma energia de ligação molecular menor que a da água (MAIA; CAMPELO 2006). Destilando-se o vinho, contendo 8,5% de etanol, obtém-se um novo líquido, com teor alcoólico cinco a seis vezes maior, que é a cachaça. Na fabricação artesanal, a destilação é feita em alambiques de cobre (Fig.12).

Figura 12 - Alambique de cobre.



. Fonte: (<http://fabricadecachaca.blogspot.com/2010/08/kit-caseiro.html>) acesso em (17/11/2010).

Maia e Campelo (2006), o procedimento típico é o recolhimento de 3 frações destiladas:

- **Destilado de cabeça:** recolhido nos primeiros minutos da destilação e corresponde a 0,7% - 1% do volume total do vinho introduzido na panela. Essa fração é a que contém o teor alcoólico mais elevado (geralmente acima de 65% (v/v), a 20°C).
- **Destilado de coração:** a cachaça propriamente dita, que se recolhe durante cerca de 2 horas, até que o teor alcoólico no tanque de recolhimento atinja o valor preestabelecido (1 -1,5% (v/v), a 20°C acima do valor pretendido para o engarrafamento, para cada ano de armazenamento). Essa fração contém 80% - 90% do volume de etanol retirado do vinho, dependendo da eficiência da destilação.
- **Destilado de cauda:** a fração final, com tamanho cerca de três vezes maior e teor alcoólico três vezes menor que o destilado de cabeça.

2.3.4 Envelhecimento

Segundo Nóbrega e Paiva (2009), a bebida recém destilada apresenta sabor picante, áspero e seco, mesmo com todos os cuidados no processo. Normalmente essa bebida apresenta odor penetrante e desagradável.

Os componentes voláteis que provocam os sabores e odores desagradáveis são eliminados por evaporação natural e por movimentação ou transferência do líquido entre recipientes. Portanto o envelhecimento prolongado em recipientes de madeira melhora a qualidade da cachaça (NÓBREGA; PAIVA 2009). Para Dias (1997), nesse período podem-se corrigir eventuais defeitos da fermentação e da destilação, melhorando assim o paladar das bebidas destiladas, pois, por melhor que tenha sido a fermentação e mais apurada a destilação, o produto recentemente produzido (cachaça branca) nunca é agradável.

O tempo de envelhecimento é muito importante para a melhoria das qualidades físico-químicas e sensoriais de bebidas armazenadas em barris de madeira. Para Cardello e Faria (1998), o período de envelhecimento da aguardente é de extrema importância, onde ocorrem reações como oxidação e esterificação,

reduzindo a concentração alcoólica e tornando o produto do ponto de vista sensorial, significativamente melhor.

O consumidor julga a qualidade de uma bebida envelhecida pela cor, sabor e odor. No processo de envelhecimento da aguardente em barril de madeira, há diminuição significativa do sabor alcoólico e da agressividade da bebida, com simultâneo aumento da doçura e do sabor de madeira, proporcionando efetiva melhora sensorial do produto (CARDELO; FARIA, 1999).

Mundialmente, carvalho é a madeira utilizada para a confecção de tonéis para envelhecimento de bebidas destiladas, por transferir compostos de aroma e sabor, tornando bebida envelhecida agradável. Porém, outras madeiras estão sendo utilizadas para construção de tonéis para envelhecimento de aguardente (ALCARDE et al., 2010).

A seguir são mostradas algumas transformações gerais que ocorrem durante o processo de envelhecimento.

2.3.4.1 Coloração

Segundo Nóbrega e Paiva (2009), a mudança da coloração das cachaças armazenadas em barris de madeira ocorre devido à extração dos seus pigmentos. Porém, essa coloração pode ocorrer, também, pela adição de outros meios, como por exemplo, a adição do extrato de madeira ou corante caramelo. Portanto, coloração da cachaça não é garantia de envelhecimento em barris de madeira.

2.3.4.2 Redução de volume

Para Nóbrega e Paiva (2009), a redução do volume das aguardentes em processo de envelhecimento em barris de madeira depende de fatores, como: porosidade da madeira, capacidade do recipiente, volume usado do recipiente, forma do recipiente, estado de conservação do recipiente, espessura das aduelas (tábuas encurvadas com que se forma o corpo do tonel), temperatura ambiente, estado higrométrico do ar, condições de ventilação, existência de abrigo ou não para os recipientes e de eventual exposição ao sol. A porosidade do barril contribui para o

envelhecimento da aguardente, pois é responsável pela passagem do líquido para o exterior e pela entrada de ar no barril.

As aduelas exercem influência sobre a redução do volume de destilado em processo de envelhecimento. Nos barris com aduelas finas, o contato do ar com o destilado é mais rápido, favorecendo a evaporação, com consequência para a economia do processo (NÓBREGA; PAIVA 2009).

2.3.4.3 Extrato

Extrato é o resíduo que fica num recipiente que continha a cachaça, depois que ela é totalmente evaporada. Por aquecimento, água, álcool, ésteres, alcoóis superiores, ácidos voláteis e furfural são eliminados por evaporação e restam apenas os sólidos que estavam dissolvidos, isto é, açúcar, adoçantes e extrato de madeira, que contém taninos, pigmentos e resíduos minerais. O contato do destilado com a madeira promove a extração de materiais corantes (pigmentos), taninos, componentes de sabor e aroma que, em excesso, podem prejudicar suas qualidades sensoriais. Cachaças recém-destiladas apresentam pouco extrato, ao contrário das envelhecidas, que apresentam teor de extrato relacionado com a intensidade de cor, mas não diretamente proporcional ao tempo de envelhecimento (NÓBREGA; PAIVA 2009).

2.3.4.4 Tratamento de tonéis novos

Segundo Nóbrega e Paiva (2009), os tonéis novos, antes de serem destinados para envelhecimento, devem ser lavados com água, água acidulada, água fervente, submetidos a vapor quente, ou usados para armazenamento temporário de um destilado forte. Esses tratamentos eliminam ou reduzem o conteúdo de materiais que comunicam cor exagerada, sabor amargo e outras características indesejáveis ou estranhas à cachaça. Depois de certo tempo de uso, a capacidade de envelhecimento da madeira se esgotará e o recipiente passará a

ser usado apenas para armazenamento e transporte de destilado ou de outros líquidos.

2.3.4.5 Espécies de madeiras

Algumas espécies de madeiras possuem características adequadas para o envelhecimento de aguardentes. Segundo Alcarde et al. (2010), alguns parâmetros, como dureza, flexibilidade e impermeabilidade à água, liberação de extratos necessários para a maturação de bebidas alcoólicas, conferindo cor e aroma suave à bebida, são essenciais para a escolha da madeira de qualidade no processo de envelhecimento.

No Brasil, as aguardentes produzidas são envelhecidas em barris confeccionados com várias madeiras locais, entre as quais se destacam: ararúva ou araribá (*Centrolobium tomentosum*), amburana ou umburana (*Amburana cearensis*), jequitibá rosa (*Cariniana strellensis*), jequitibá branco (*Cariniana legalis*), cabreúva ou bálsamo (*Myroxylum peruiferum*), amendoim (*Pterogyne nitens*), ipê amarelo e ipê roxo (*Tabebuia* sp.), freijó (*Cordia goeldiana*), louro-pardo (*Cordia trichotoma*) e outras que apresentam dureza, porosidade, durabilidade e capacidade de ceder extrato sem prejudicar sabor e aroma do destilado (NÓBREGA; PAIVA, 2009).

Mundialmente o carvalho é a principal madeira utilizada para o envelhecimento de aguardentes. O carvalho é tradicionalmente utilizado na manufatura de barris para envelhecimento. O carvalho branco americano (*Quercus alba*) e o carvalho europeu (*Quercus robur* e *Quercus petraea*) são tradicionalmente usados na manufatura de barris para envelhecimento de bebidas, pelas suas características favoráveis à melhoria das bebidas em processo de envelhecimento, como dureza, flexibilidade e impermeabilidade à água, bem como pela liberação de extratos necessários para a maturação de bebidas alcoólicas, conferindo cor e aroma suave à bebida (ALCARDE et al., 2010).

2.3.4.6 Alterações do teor de etanol do destilado

Segundo Alcarde et al. (2010), no Brasil, durante o envelhecimento, são comuns perdas de etanol em torno de 3 a 4% ao ano, devido à qualidade da madeira ou à idade das madeiras utilizadas. As perdas ao longo do ano e das variações climáticas dependem de fatores como dilatação e contração da cachaça dentro do tonel, vazamentos e expulsão de cachaça por frestas e conseqüente aspiração de ar por contração no resfriamento, em ocorrências sucessivas, devido à inadequação de instalações e de ambientes, além do modo de armazenamento. A baixa umidade relativa favorece perda de água e a alta favorece a perda de etanol dos tonéis. Para Nóbrega e Paiva (2009), devido a esses fatores, não é possível fixar valores indicando a intensidade da evaporação do álcool, da água ou da sua mistura.

Segundo Nóbrega e Paiva (2009), as aguardentes destinadas ao envelhecimento devem ter graduação alcoólica mais elevada, em comparação aquelas armazenada em garrafas, devido à redução da graduação alcoólica no período de envelhecimento. Para ele, a aguardente recém destilada deve conter aproximadamente 50% em volume, pois durante os meses de envelhecimento esse teor alcoólico reduzirá. Ele enfatiza, ainda, que no momento de envase a aguardente que apresenta teor alcoólico elevado, pode ser diluída com água apropriada ao nível adequado.

A figura 13 mostra um barril utilizado no envelhecimento das aguardentes.

Figura 13 - Barril de carvalho.



Fonte: (<http://adegaleuck.blog.terra.com.br>) acesso em (01/10/2010)

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Obtenção de aguardentes de mel de abelhas de diferentes floradas, de caldo da cana-de-açúcar, de mel de abelhas de cana-de-açúcar e de mostos mistos (caldo de cana-de-açúcar e mel de abelhas de diferentes floradas).

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Produção artesanal de aguardente de mel de abelhas de diferentes floradas e de mel de abelhas de cana-de-açúcar em alambique de cobre, com características físico-químicas e sensoriais e padrões higiênico-sanitários adequados para um mercado consumidor exigente e para exportação;
- Obtenção de aguardente de mel de abelhas de diferentes floradas, utilizando mostos mistos (caldo de cana-de-açúcar e mel de abelhas de diferentes floradas);
- Estabelecimento de condições de envelhecimento das aguardentes obtidas, em barris de carvalho, que possam ser utilizados por pequenos produtores rurais e/ou cooperativas de apicultores.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 METODOLOGIA

4.1.1 Preparo das amostras

4.1.1.1 Microrganismo

Foi utilizada a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, sob a forma granulada seca, adquirida no comércio local.

4.1.1.2 Obtenção dos méis de abelhas e de cana-de-açúcar

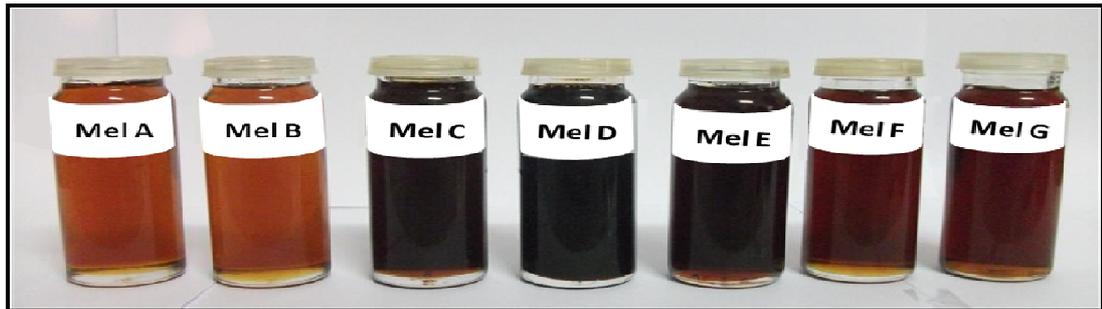
Os méis de abelhas foram adquiridos de empresas locais, de produtores individuais e de cooperativa, alguns por doação e outros por compra. As informações citadas neste estudo foram as fornecidas pelos respectivos produtores. A cana-de-açúcar foi doada por produtor de cana de Alagoas.

4.1.1.2 Meio de Fermentação

Os meios de fermentação utilizados foram os mostos de mel de abelhas de diferentes floradas, de cana-de-açúcar e da mistura destes com caldo de cana-de-açúcar. A Figura 14 mostra os méis de diferentes floradas utilizados nas fermentações.

Materiais e Métodos

Figura 14 - Mel A = Florada de juazeiro, oriundo de Viçosa-AL; Mel B = Florada mista (Coopmel, de Pão-de-Açúcar-AL); Mel C = Florada mista, oriundo do Município de Pão-de-Açúcar-AL, Mel D = Florada mista, oriundo do Estado do Piauí; Mel E = Florada mista, oriundo do Município de Delmiro Gouveia-AL; Mel F = Oriundo do Município do Pilar- AL, com abelhas alimentadas com sacarose dos colmos de cana-de-açúcar após o corte; Mel G = Florada mista, oriundo do Estado do Ceará.



Fonte. (Autora, 2011)

4.1.2 Condução das fermentações e das destilações

4.1.2.1 Definição da melhor concentração de ART nos mostos

Foram realizados ensaios com mostos de caldo de cana-de-açúcar, mel-de-abelhas de diferentes floradas e mostos mistos (mel de abelhas + caldo de cana-de-açúcar). Os méis foram diluídos com caldo de cana-de-açúcar e água. Utilizaram-se diversas concentrações de açúcares nos mesmos, avaliando-se aquela que conduziria ao melhor desempenho da fermentação etanólica. As concentrações de açúcares, medidas indiretamente como Brix, foram de 13,3, 17,3, 20, 24 e 26,7g/100g que, após a inoculação, equivalem a 10, 13, 15, 18 e 20°Brix (g/100g), respectivamente. Estes ensaios foram conduzidos, em triplicata, em Erlenmeyers de 1 litro de capacidade.

4.1.2.2 Produção das aguardentes

O ensaios foram conduzidos com mostos de caldo de cana-de-açúcar, de mel-de-abelhas de 7 diferentes floradas e misto (caldo de cana-de-açúcar e de mel de abelhas de 7 diferentes floradas, sempre na proporção de 50%, em volume, para cada uma das partes). Os ensaios foram conduzidos sempre misturando-se 75% de

Materiais e Métodos

volume de mosto e 25% de volume de inóculo, ou seja, para as alambicadas, sempre foram utilizados 30L de mosto e 10 litros de inóculo (400g de fermento granulado seco). As fermentações foram conduzidas em fermentador de 50 litros de capacidade e as alambicadas em um alambique de 40L de volume de trabalho e realizadas na Unidade Experimental de Produção de Derivados da Cana-de-Açúcar, localizada na Unidade Acadêmica Centro de Tecnologia, da Universidade Federal de Alagoas. Para o acompanhamento das fermentações, foram retiradas amostras de mosto e de vinho, quantificando-se pH, acidez acética, ART, Brix e, também, teor de etanol no vinho.

Para cada alambicada, foi realizada no dia anterior fermentação para a obtenção do meio fermentado (vinho).

Após as fermentações, o vinho foi colocado em um alambique de cobre (Figura 15), aquecido com GLP, utilizando-se fogareiro industrial.

Na condução das alambicadas, foram retiradas 3 frações: de cabeça (8%), de coração (84%) e de cauda (8%). Este é o procedimento padrão utilizado na produção de cachaça e objetiva a produção de aguardente de qualidade, eliminando componentes indesejáveis da bebida. Nestas frações, foram quantificados pH, densidade, teor alcoólico, extrato seco e acidez acética no Laboratório de Derivados da Cana-de-açúcar. As temperaturas de operação do alambique foram: a) Fração de cabeça: temperaturas inicial e final, respectivamente iguais a 89,3 e 93,0°C; Fração de coração: 93,0 e 96,0°C; Fração de cauda: 96,0 e 97,0°C. A duração de cada etapa foi de aproximadamente 25 minutos, 70 minutos e 23 minutos, respectivamente, e os respectivos volumes obtidos foram 500mL, 5380mL e 500mL, na mesma ordem.

Figura 15 - Alambique utilizado para obtenção da aguardente.



Fonte. (Autora, 2011)

4.1.2.3 Envelhecimento

Como os ensaios originais programados foram realizados em sua totalidade com antecipação do cronograma de execução originalmente proposto, durante a fase de tabulação e análise dos dados obtidos e como forma de enriquecimento do trabalho, foram adquiridos barris de carvalho de 5L de capacidade cada, para dar início ao processo de envelhecimento. Os barris utilizados para o envelhecimento das aguardentes podem ser visualizados lateralmente na Figura 16 e frontalmente na Figura 17. O envelhecimento foi realizado pelo período de setembro de 2010 a março de 2011, com amostras sendo retiradas mensalmente para análises de teor alcoólico, acidez acética, pH, extrato seco, densidade, aspecto visual e cor.

A área de envelhecimento, assim como os barris com as respectivas aguardentes, podem ser visualizados na Figura 18.

Figura 17 - Vista lateral do barril de carvalho utilizado para o envelhecimento da aguardente obtida.



Fonte. (Autora, 2011)

Figura 16 - Barril de carvalho utilizado para o envelhecimento da aguardente obtida.



Fonte. (Autora, 2011)

Figura 18 - Área de envelhecimento das aguardentes obtidas em barris de carvalho de 5L cada.



Fonte. (Autora, 2011)

4.1.2 Metodologias analíticas

4.1.2.1 Determinação do pH

O pH dos mostos e dos vinhos foi determinado por potenciometria, utilizando o potenciômetro digital modelo DM 20, da Digimed (Figura 19).

Figura 19 - Determinação do pH do mosto e do vinho.



Fonte. (Autora, 2011)

O pH das aguardentes foi determinado por potenciometria, utilizando um potenciômetro digital com eletrodo específico para etanol, modelo DM 2, da Digimed (Figura 20).

Figura 20 - Determinação do pH das aguardentes obtidas e em processo de envelhecimento.



Fonte. (Autora, 2011)

4.1.2.2 Determinação de Açúcares Redutores Totais (ART)

Este método fundamenta-se na redução do Cu^{+2} a Cu^{+1} , com formação de óxido cuproso (Cu_2O). Sabe-se que os monossacarídeos glicose e frutose são açúcares redutores. A sacarose, porém, não é redutora. Como os meios sacaríneos usados (mel-de-abelhas e caldo de cana-de-açúcar) contêm percentuais variados de sacarose, necessita-se hidrólise prévia para a conversão da sacarose em glicose e frutose. A determinação dos ART foi realizada pelo método volumétrico de Eynon & Lane. A Figura 21 mostra o equipamento utilizado na titulação, denominado REDUTEC, Modelo TE 088, da TECNAL, conforme descrito em Vasconcelos (2001).

Figura 21 - REDUTEC utilizado para determinação de ART.



Fonte. (Autora, 2011)

A equação (1) foi utilizada para o cálculo dos ART dos mostos.

$$\text{ART} = 200/Vg \quad (1)$$

Onde:

- ART: gramas de açúcares redutores totais por 100 mL de amostra;
- Vg: volume gasto de solução na titulação da amostra de mosto.

A equação (2) foi utilizada para o cálculo do ART dos vinhos.

$$\mathbf{ART = 10/Vg} \quad (2)$$

Onde:

- ART: gramas de açúcares redutores totais por 100 mL de amostra;
- Vg: volume gasto de solução na titulação da amostra do vinho.

4.1.2.3 Determinação da Acidez Acética

Consiste na determinação do ponto de neutralização dos ácidos contidos na amostra, utilizando solução de NaOH 0,05M e fenolftaleína a 1% (VASCONCELOS, 2008). O cálculo foi feito utilizando-se a equação (3).

$$\mathbf{A_T = Eq \times n \times N / 10 \times V} \quad (3)$$

Onde:

N = Normalidade da solução de hidróxido de sódio.

n = volume da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação, em mL.

A_T = acidez total titulável.

V = volume da amostra, em mL.

Eq = equivalente grama do ácido acético (60,0).

4.1.2.4 Determinação da Acidez Sulfúrica

O método da acidez sulfúrica consiste na determinação da quantidade de substâncias ácidas presentes nas amostras analisadas, expressas em g de H₂SO₄/L, por neutralização com NaOH 0,05 M, utilizando a fenolftaleína 1% como indicador (VASCONCELOS, 2001). A Figura 22 mostra o ponto de viragem, no qual a amostra apresenta uma coloração rosa. O cálculo foi feito utilizando-se a equação (4).

$$\text{Acidez sulfúrica (g/L H}_2\text{SO}_4) = Vg \times 1,225 \times F \quad (4)$$

Onde:

Vg = volume de hidróxido de sódio 0,05N gasto na titulação;

F = fator de correção da concentração do hidróxido de sódio 0,05N.

Figura 22 - Determinação da acidez sulfúrica por titulação.



Fonte. (Autora, 2011)

4.1.2.5 Determinação de Sólidos Solúveis (Brix)

As determinações de Sólidos solúveis foram realizadas por densimetria, de acordo com Vasconcelos (2008).

4.1.2.6 Determinação do Teor Alcoólico

Na determinação do teor alcoólico, foi utilizado um microdestilador TECNAL, modelo TE 012 (Figura 23), onde foram colocadas 25 mL da amostra e 25 mL de água destilada, sendo coletados 50 mL da amostra destilada. As amostras destiladas foram analisadas em densímetro digital ANTON PAAR, modelo DMA 48 (Santos, 2008).

Figura 23 - Microdestilador de Etanol.



Fonte. (Autora, 2011)

4.1.3 Parâmetros de fermentação

4.1.3.1 Eficiência do processo fermentativo (η_P)

Compreende o percentual de etanol produzido com relação à quantidade de ART disponível no mosto. A equação (5) foi utilizada para o cálculo deste parâmetro:

$$\eta_P = (m_{\text{EtOH}} / (m_{\text{ART}_{\text{MOSTO}}} \times 0,511)) \times 100 \quad (5)$$

onde:

η_P : eficiência do processo fermentativo, em %;

m_{EtOH} : massa de etanol produzido, g;

$m_{\text{ART}_{\text{MOSTO}}}$: massa de ART do mosto, g;

0,511: fator estequiométrico para conversão de ART em etanol.

4.1.3.2 Eficiência da fermentação (η_B)

A equação (6) foi utilizada para o cálculo deste parâmetro:

$$\eta_B = (m_{\text{EtOH}} / (m_{\text{ART}_{\text{MOSTO}}} - m_{\text{ART}_{\text{VINHO}}}) \times 0,1511) \times 100 \quad (6)$$

onde:

η_B : eficiência da fermentação, em %;

m_{EtOH} : massa de etanol produzido, g;

$m_{\text{ART}_{\text{MOSTO}}}$: massa de ART do mosto, g;

$m_{\text{ART}_{\text{VINHO}}}$: massa de ART do meio fermentado, g;

0, 511: fator estequiométrico para conversão de ART em etanol.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 DETERMINAÇÃO DA MELHOR CONCENTRAÇÃO DE ART NOS MOSTOS

Estes resultados se referem aos ensaios para a definição das concentrações de Açúcares Redutores Totais (ART) mais adequadas a cada um dos tipos de mosto, avaliadas indiretamente pelo teor de sólidos totais dissolvidos (Brix). Ressalte-se que todos os ensaios foram conduzidos com 3 repetições cada, realizadas em períodos distintos, apresentados como média \pm erro padrão.

A composição tecnológica dos diferentes tipos de mel de abelhas e do caldo da cana utilizado nos ensaios experimentais pode ser visualizada na Tabela 5. Nesta Tabela verifica-se que, enquanto os méis de abelhas apresentam, em sua composição, elevados teores de Açúcares Redutores (AR), o contrário ocorre com o caldo de cana. No caso dos ART, as concentrações são elevadas para os méis de abelhas e baixas para o caldo de cana-de-açúcar. Estas composições contraditórias não inviabilizam a fermentação etanólica, haja vista que os microrganismos agentes da fermentação etanólica (leveduras) dispõem da enzima invertase, que hidrolisa a sacarose, transformando-a em glicose e frutose. O fator que dará um diferencial no desempenho das fermentações é o baixo pH do mel B, que traz dificuldade à condução da fermentação etanólica, com menor eficiência fermentativa que as demais.

Tabela 5 - Composição tecnológica do mel de abelhas de diferentes floradas e do caldo de cana-de-açúcar, utilizados nos ensaios experimentais

Matéria-prima	AR (g/100mL)	ART (g/100mL)	Brix (g/100g)	pH	Acidez Acética (g/100mL)	Densidade (g/mL)
Mel A	65,10	73,53	82,30	4,88	0,3802	1,3967
Mel B	63,45	69,06	83,35	2,96	0,4832	1,3818
Mel C	62,50	66,84	82,2	3,34	0,4423	1,3860
Mel D	67,57	69,44	82,70	3,18	0,4627	1,4000
Mel E	64,76	67,93	81,00	3,22	0,4562	1,3600
Mel F	59,52	65,44	84,45	3,82	0,4257	1,3742
Mel G	61,32	65,85	79,70	3,51	0,4215	1,3712
Caldo	0,91	17,53	19,00	4,72	0,3900	1,0800

Mel A = Florada de juazeiro, oriundo de Viçosa-AL; Mel B = Florada mista (Coopmel, oriundo do Município de Pão-de-Açúcar - AL); Mel C = Florada mista, oriundo do Município de Pão-de-Açúcar-AL, Mel D = Florada mista, oriundo do Estado do Piauí; Mel E = Florada mista, oriundo do Município de Delmiro Gouveia-AL; Mel F = Oriundo do Município do Pilar – AL, com abelhas alimentadas com a sacarose dos colmos de cana-de-açúcar após o corte; Mel G = Florada mista, oriundo do Estado do Ceará e caldo de cana-de-açúcar oriunda do Município de Joaquim Gomes – AL.

Os ensaios foram realizados com mostos de caldo de cana-de-açúcar, de mel-de-abelhas de diferentes floradas e misto (mel de abelhas + caldo de cana-de-açúcar). Para a verificação da concentração mais adequada de açúcares dos diferentes tipos de mosto, foram realizados ensaios com diversas concentrações de açúcares nos mesmos, avaliando-se aquele que conduziria ao melhor desempenho da fermentação etanólica. As concentrações de açúcares, medidas indiretamente como Brix, foram de 13,3, 17,3, 20, 24 e 26,7g/100g.

Os resultados obtidos para a definição da melhor concentração de ART nos diferentes tipos de mostos estão apresentados nas Figuras 24 a 32.

Em estudo realizado por Moreira et. al. (2002), ao classificarem as frações do mel de Cajueiro do Ceará, encontraram teores de açúcares redutores totais entre 53,4 e 55,2%, valores menores que os encontrados nos méis analisados neste trabalho. No entanto, Silva et. al. (2004), caracterizando méis do Piauí, encontraram valores de açúcares redutores de 68,98–85,40%. Essa diferença pode ser explicada pela diversidade de floradas existentes, que favorecem a produção de méis com

características diferenciadas de acordo com o local e época em que foram produzidos.

Entre as amostras avaliadas neste trabalho, apenas o mel A apresentou-se com valor de pH acima do máximo permitido pela legislação, que é de 4,6. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Moreira et. al. (2002), onde o pH dos méis variou entre 3,7 e 3,9. Silva et. al. (2004) e Souza (2003) encontraram valores de pH variando de 3,55 a 5,26 e de 3,54 a 5,30, respectivamente.

Todos os méis de abelhas estudados neste trabalho são ácidos, com o pH variando de 2,96 a 4,88, devido à presença de ácidos orgânicos, que contribuem para o sabor do mel. Os valores de °Brix (79,7– 84,45g/100g) estão próximos dos obtidos por Souza (2003), que trabalhou com méis da Paraíba e de Pernambuco, encontrando °Brix entre 79,8 e 83,6g/100g. Sodré et. al. (2003), em estudo com méis do litoral norte da Bahia, verificaram valores de 71,72g/100g.

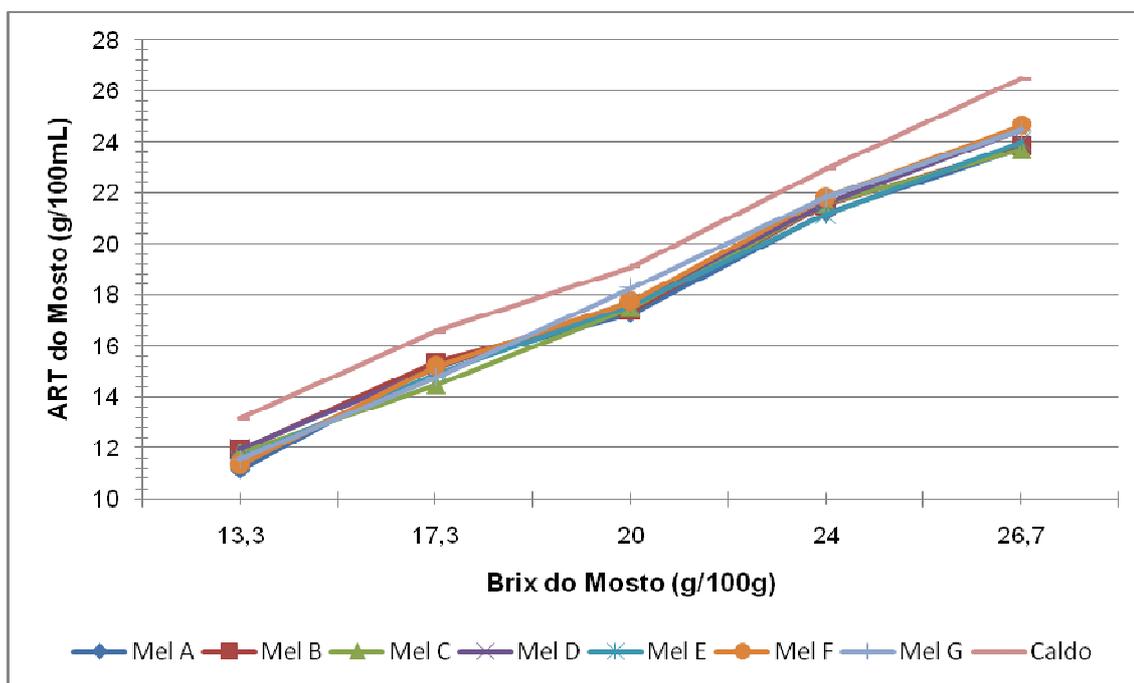
Segundo Bogdanov et. al. (2004), o conteúdo de água é um parâmetro de qualidade. Porém, dependendo da estação de produção e do clima, méis uniflorais mostram algumas diferenças típicas no conteúdo de água, que afeta as propriedades físicas do mel (viscosidade, cristalização) e também influencia o valor da relação glicose/água.

De acordo com as linhagens de levedura disponíveis, em condições normais, quando se trabalha com melaço, utiliza-se mosto de Brix 18 a 22g/100g, e quando o mosto é de caldo de cana, o Brix varia de 14 a 15g/100g (OLIVEIRA, 2007).

Segundo SEBRAE (2001) a fermentação ideal para a produção de aguardente, ocorre com o mosto numa concentração de açúcares em torno de 15°Brix.

Para o cálculo do desempenho das fermentações, foram utilizadas as determinações dos ART, cujos resultados, para os respectivos mostos, são apresentados na Figura 24. Verifica-se que há uma estreita correlação entre os valores dos ART e do Brix, ou seja, quando há aumento nos teores de ART, aumenta proporcionalmente o valor do Brix. Por outro lado, quando há diminuição dos ART, há redução proporcional do Brix.

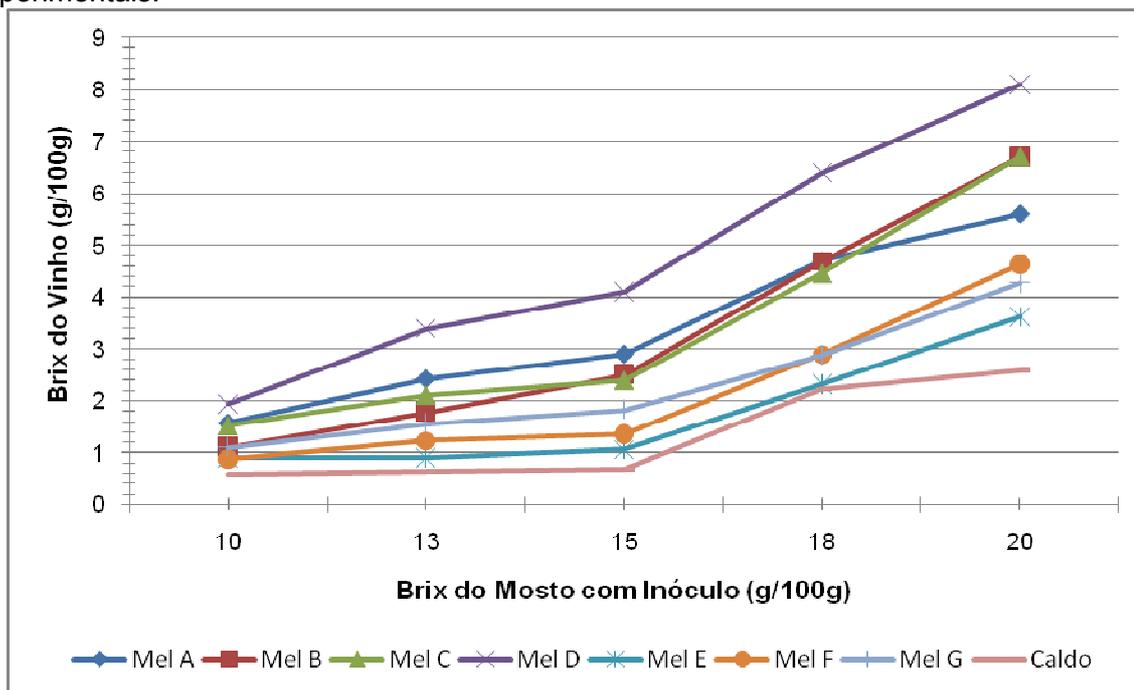
Figura 24 - Valores dos ART dos mostos utilizados nos ensaios experimentais.



Fonte. (Autora, 2011)

Os resultados do Brix para os diferentes meios fermentados (vinhos) são apresentados na Figura 25.

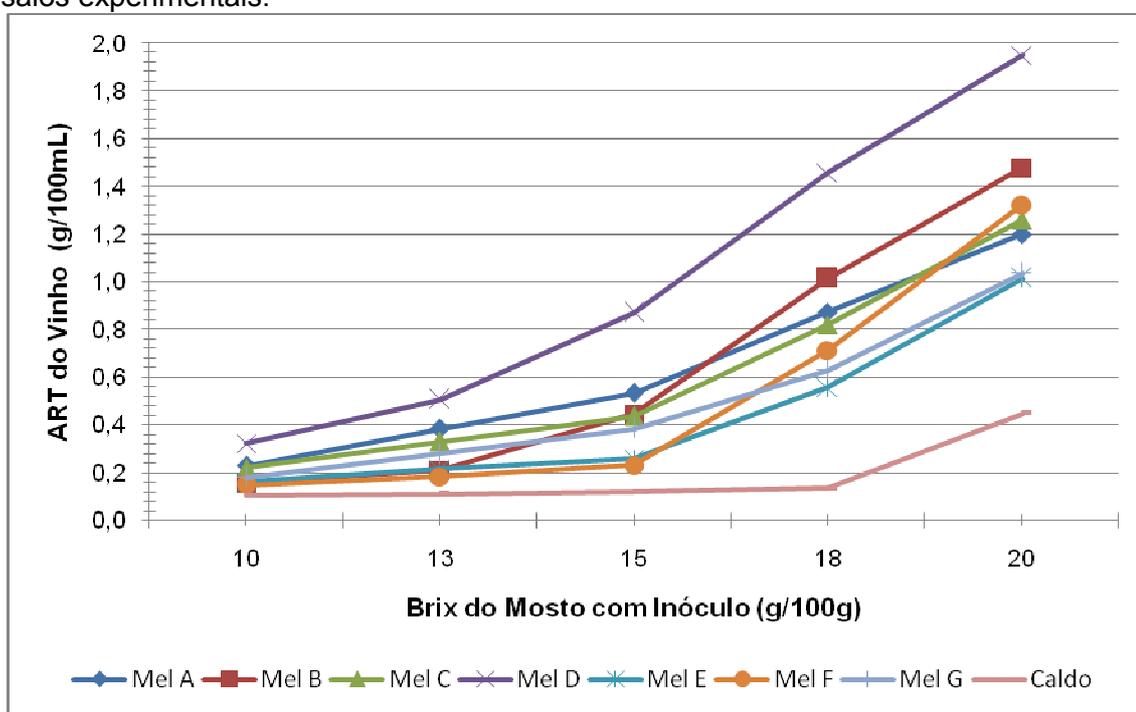
Figura 25 - Brix dos vinhos referentes aos diferentes tipos de mosto utilizados nos ensaios experimentais.



Fonte. (Autora, 2011)

Os resultados do meio fermentado referentes aos meios de fermentação (mostos) apresentados na Figura 24 são apresentados na Figura 26, onde se verifica que, à medida que as concentrações iniciais de ART no mosto aumentam, os ART residuais também se elevam, sendo necessária a definição da melhor concentração inicial, que será mostrada posteriormente.

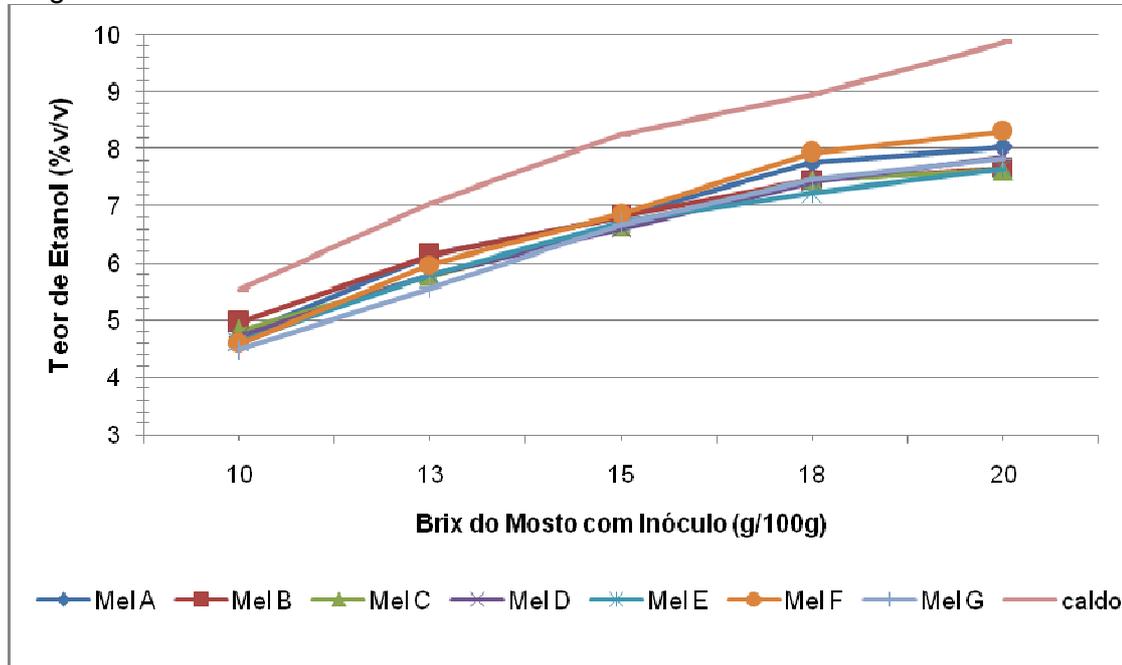
Figura 26 - ART dos vinhos referentes aos diferentes tipos de mosto utilizados nos ensaios experimentais.



Fonte. (Autora, 2011)

Os valores do teor de etanol dos vinhos referentes aos diferentes tipos de mel de abelhas são apresentados na Figura 27, onde se verifica comportamento crescente com o aumento das concentrações iniciais de ART dos respectivos mostos.

Figura 27 - Teor de etanol dos vinhos.



Fonte. (Autora, 2011)

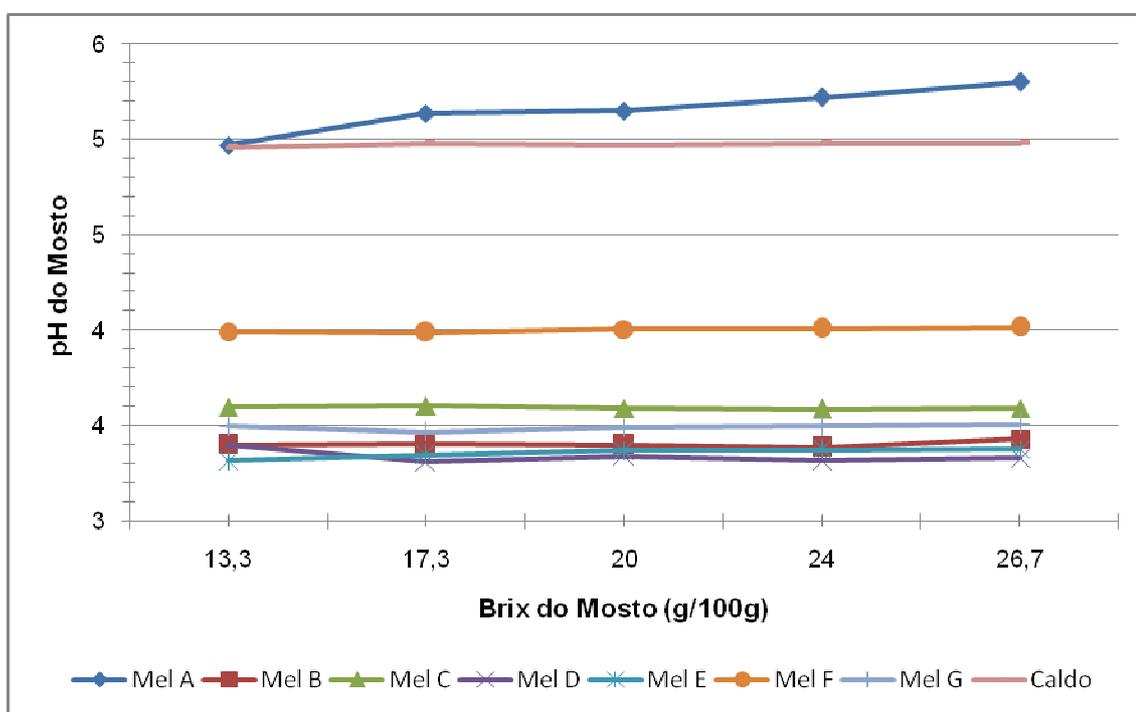
O pH dos meios de fermentação são apresentados na Figura 28, onde se verificam valores aproximadamente constantes em todos os casos avaliados. Somente o mel A é que apresentou valores (4,97-5,30) significativamente superiores aos demais. Como as leveduras fermentam bem em valores de pH entre 4,5 e 5,0, mesmo o mel A não apresentou problemas quanto à condução da fermentação alcoólica. Jones et. al. (1981), citando estudos da literatura especializada, citam que o valor do pH interno das leveduras independe do externo, na faixa de pH entre 3,0 e 7,0, sendo controlado pelas próprias leveduras em valores de 5,8 a 6,3.

Segundo o SEBRAE (2007), o pH desejável do caldo a ser fermentado situa-se entre 4,0 e 5,0. Segundo Oliveira (2007) o pH ótimo do meio utilizado para a fermentação etanólica por leveduras é em torno de 4,5. Este meio ácido, além de favorecer a fermentação, provoca a inibição das bactérias contaminantes. Os resultados obtidos neste estudo são semelhantes aos obtidos por Souza (2008), que, avaliando a qualidade físico-química de méis de abelhas nativas do Estado da Bahia, observou variação de pH entre 3,12 e 6,5.

Segundo Evangelista-Rodrigues et. al. (2005), o pH do mel de abelhas pode estar diretamente relacionado à composição floral nas áreas de coleta, uma vez que

pode ser influenciado pela variação de ácidos orgânicos e pH do néctar, que é submetido à ação da glicose-oxidase, formando ácido glucônico; por outro lado, também influencia a ação de enzimas bacterianas durante a sua maturação, e, ainda, pela quantidade de minerais presentes e diferenças na composição do solo ou associação de espécies vegetais para a composição final.

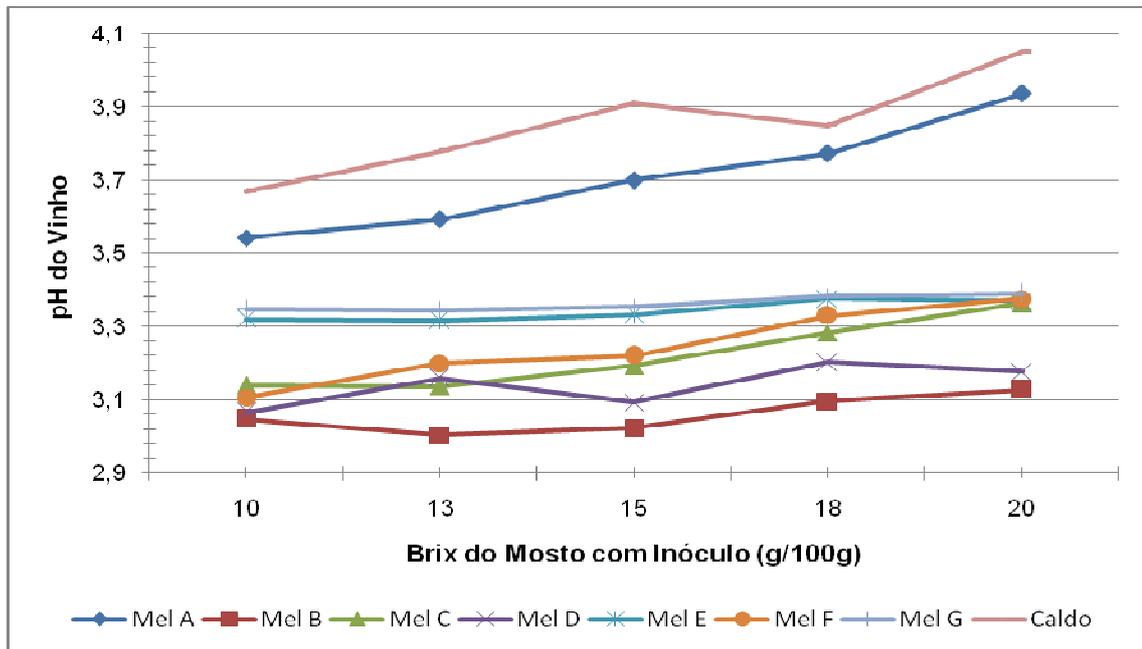
Figura 28 - Valores do pH dos mostos utilizados nos ensaios experimentais.



Fonte. (Autora, 2011)

Os vinhos resultantes apresentaram comportamento semelhante, porém com valores de pH mais baixos que os dos respectivos mostos, conforme esperado (Figura 29). Em linhas gerais, o pH apresentou valores crescentes com o aumento do Brix.

Figura 29 - Valores do pH dos vinhos utilizados nos ensaios experimentais.



Fonte. (Autora, 2011)

Os resultados da eficiência de fermentação e de processo são apresentados, respectivamente, nas Figuras 30 e 31. Conforme ressaltado anteriormente, os resultados destes gráficos indicam que o melhor valor dos ART para a condução dos próximos ensaios, ou seja, a concentração dos ART que conduz a melhores eficiências fermentativa e de processo e produtividade, é o de ART de aproximadamente 17,5g/100mL, para Brix de cerca de 15 g/100g, para os diversos tipos de mosto utilizados.

Este valor foi sugerido porque concentrações menores de açúcares nos mostos implicam em maiores eficiências de fermentação, proporcionam menores teores de etanol nos vinhos, porém acarretam menores produções nos aparelhos de destilação, com maiores consumos de vapor.

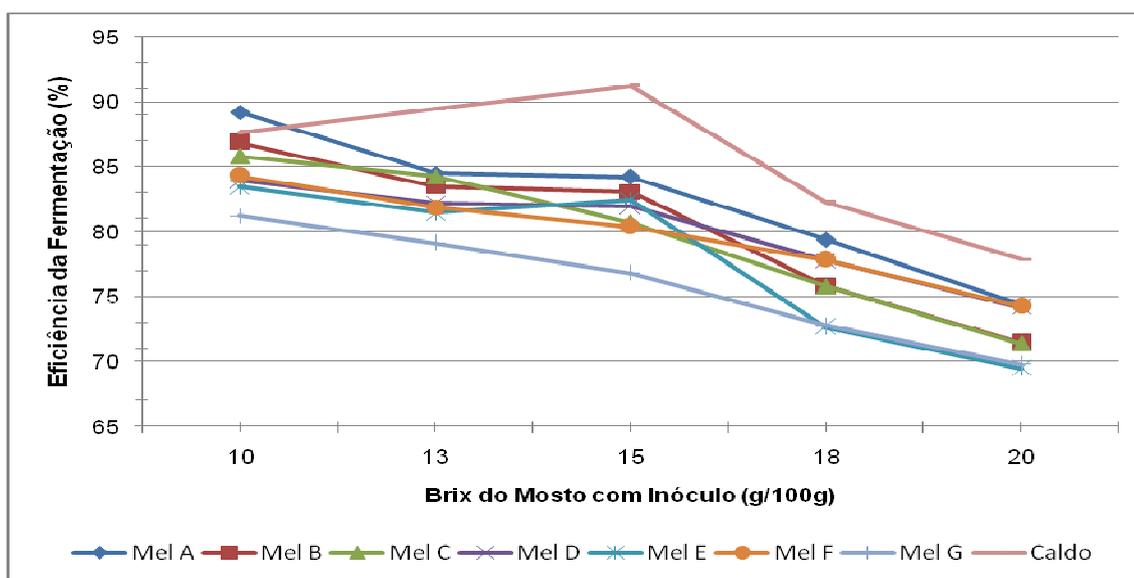
Segundo SEBRAE (2007), a eficiência da destilação é influenciada por muitas variáveis, como: a qualidade do meio fermentado (vinho), o projeto do alambique (destilador) e condições operacionais. Estas condições operacionais certamente envolvem a correta separação das frações de cabeça, coração e calda.

Santos (2008) estudou a influência da complementação de nutrientes no mosto sobre o processo de fermentação etanólica em batelada e verificou que o mosto de melaço, a 15°Brix, proporcionou melhor aproveitamento pela levedura,

Resultados e Discussões

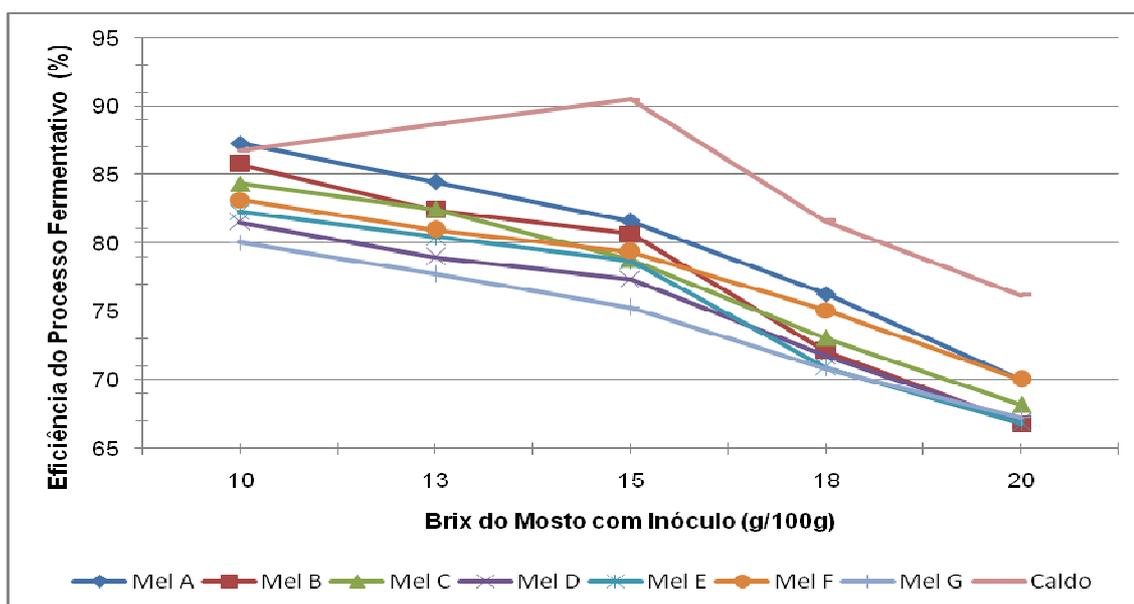
pois, apesar da menor quantidade de etanol produzida, apresentou maior eficiência fermentativa. E concluiu ainda que, o mesmo ocorreu para o caso do mosto de caldo em relação ao Brix de 14g/100g, que apresentou concentração intermediária de etanol, porém com maior eficiência de fermentação.

Figura 30 - Valores das eficiências de fermentação para os diversos tipos de mel de abelhas utilizados nos ensaios experimentais.



Fonte. (Autora, 2011)

Figura 31 - Valores das eficiências do processo fermentativo para os diversos tipos de mel de abelhas utilizados nos ensaios experimentais.



Fonte. (Autora, 2011)

5.2 PRODUÇÃO DE AGUARDENTES

A partir dos resultados anteriores, o mosto com Brix de 15g/100g foi utilizado em todos os ensaios, independentemente se de mel de abelhas ou de caldo de cana-de-açúcar ou de mosto misto (mel-de-abelhas + caldo de cana-de-açúcar). A caracterização físico-química dos mostos está apresentada na Tabela 6, onde se verifica que os méis de abelhas são ricos em Açúcares Redutores (AR) e pobres em sacarose. Com o caldo de cana-de-açúcar ocorre o contrário.

Tabela 6. Análises físico-químicas dos mostos utilizados nos ensaios experimentais para a produção de aguardente

Tipo de mosto	AR (g/100mL)	ART (g/100mL)	pH	Acidez Sulfúrica (g/100mL)
Caldo	0,91	17,4633	4,37	0,0480
Mel A	16,53	17,2033	4,84	0,0264
Mel B	16,95	17,7667	3,04	0,0312
Mel C	16,53	17,5650	3,39	0,0408
Mel D	17,98	18,9750	3,23	0,0336
Mel E	17,86	18,8600	3,22	0,0492
Mel F	14,92	18,9433	3,93	0,0360
Mel G	17,56	17,8133	3,38	0,0384
Mel A + Caldo	12,34	18,8200	4,93	0,0336
Mel B + Caldo	11,17	19,1000	4,33	0,0432
Mel C + Caldo	10,81	17,7000	4,38	0,0435
Mel D + Caldo	8,89	18,6250	4,30	0,0600
Mel E + Caldo	9,85	19,5200	4,23	0,0492
Mel F + Caldo	10,66	19,1733	4,46	0,0504
Mel G + Caldo	9,98	18,8000	4,19	0,0492

Os resultados dos vinhos das fermentações etanólicas conduzidas com os 15 tipos de mosto utilizados nos ensaios experimentais, realizados para a produção de aguardente, são apresentados na Tabela 7, onde se evidenciam diferenças

significativas de eficiências de fermentação e de processo para os diferentes tipos de mel de abelhas, quando comparadas com as fermentações conduzidas com caldo de cana-de-açúcar, utilizadas como padrão de comparação.

Fica evidente nesta Tabela que a fermentação utilizando mosto de caldo de cana-de-açúcar apresenta melhor desempenho que as que utilizaram os outros tipos de mosto. Numa escala decrescente, de modo geral, pode-se classificar as eficiências de fermentação (η_f) e de processo (η_p) na ordem mosto de caldo de cana : mosto misto : mosto de mel de abelhas. Outros parâmetros, como teor alcoólico e açúcares residuais (e Brix) mantiveram o mesmo comportamento. Não houve diferenças significativas para pH e acidez, indicando, de forma geral, que as fermentações podem ser conduzidas de forma semelhante para qualquer um dos tipos de mosto utilizados.

Este dado é importante, haja vista que a aguardente de mel de abelhas pode ser obtida sem maiores dificuldades, porém com menor desempenho. Por outro lado, se a aguardente produzida com mostos mistos mantiver características físico-químicas e sensoriais semelhantes às produzidas com os respectivos méis puros, poderá ser a melhor alternativa, pois as aguardentes serão obtidas com menor custo de produção. É verdade que, para o consumidor de poder aquisitivo diferenciado, a diferença de preço pode não ser tão significativa. De qualquer modo, poderão ser obtidas aguardentes, tanto com os méis puros quanto com os méis misturados com caldo de cana-de-açúcar.

Tabela 7. Resultados dos meios fermentados, referentes aos mostos utilizados nos ensaios para a produção de aguardente

Tipo de mosto	ART (g/100mL)	Brix (g/100g)	pH	Acidez Sulfúrica (g/100mL)	Teor Alcoólico (% V/V)	η_r (%)	η_p (%)
Caldo	0,1373	1,09	3,85	0,1424	6,13	91,80	90,84
Mel A	0,5382	2,86	3,47	0,1152	5,22	82,12	78,72
Mel B	0,5088	3,21	2,73	0,1225	5,09	77,14	74,30
Mel C	0,4567	2,20	3,04	0,1297	5,35	82,04	79,17
Mel D	0,4844	2,48	3,02	0,1465	5,64	79,79	77,02
Mel E	0,2000	0,85	3,05	0,1561	5,76	80,27	79,14
Mel F	0,2120	1,01	3,17	0,1441	5,71	79,23	78,04
Mel G	0,3878	1,66	3,17	0,1489	5,65	84,72	82,26
Mel A + Caldo	0,3679	1,66	3,81	0,1417	5,79	81,86	79,67
Mel B + Caldo	0,4217	1,34	3,60	0,1441	6,10	85,32	83,07
Mel C + Caldo	0,1792	0,75	3,45	0,1273	6,00	89,06	87,86
Mel D + Caldo	0,3061	1,13	3,29	0,1225	5,00	71,10	69,54
Mel E + Caldo	0,1075	0,44	3,15	0,1537	5,84	78,10	77,53
Mel F + Caldo	0,1489	0,64	3,45	0,1393	6,37	86,97	86,08
Mel G + Caldo	0,2959	0,85	3,65	0,1369	6,18	87,07	85,26

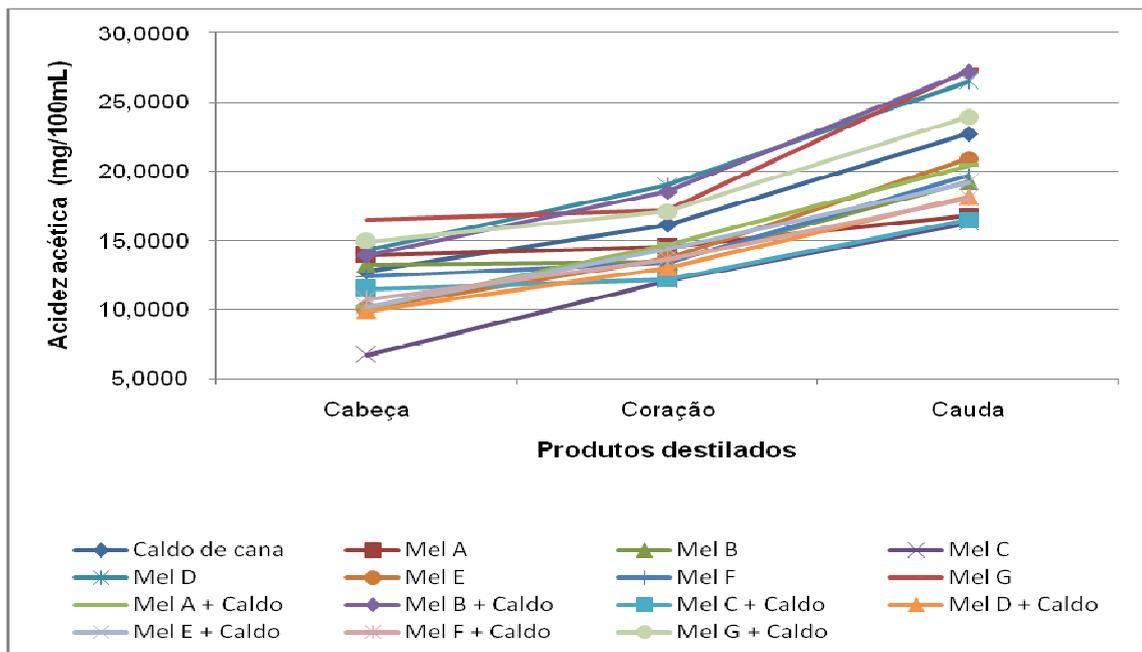
Os resultados obtidos para acidez acética, pH, densidade, teor de etanol e extrato seco são apresentados e discutidos a seguir.

Acidez Acética – A acidez acética apresentou comportamento crescente, independentemente do tipo de mosto utilizado, seguindo-se a ordem cabeça, coração, cauda. Os dados são apresentados na Figura 32. Ressalte-se que a acidez acética do produto de coração referente ao mosto de caldo de cana-de-açúcar foi a que apresentou maior valor. Apesar de a fração de cabeça apresentar valor menor, é produto que deve ser descartado, pois é a fração responsável, principalmente, pela “ressaca” e “dor de cabeça”.

De acordo com Lima et. al. (2001), a acidez das cachaças é fator de qualidade, pois, durante sua produção, os ácidos reagem com os álcoois presentes e aumentam a formação de ésteres. Por outro lado, segundo Cherubin (1998), o excesso de acidez promove sabor indesejado e ligeiramente “agressivo” em aguardente de cana, depreciando a qualidade da bebida.

Segundo Dantas et. al. (2007), o uso de cana-de-açúcar limpa e com baixo grau de contaminação de bactérias acéticas, são fatores preponderantes para se obter uma aguardente com baixos teores de acidez.

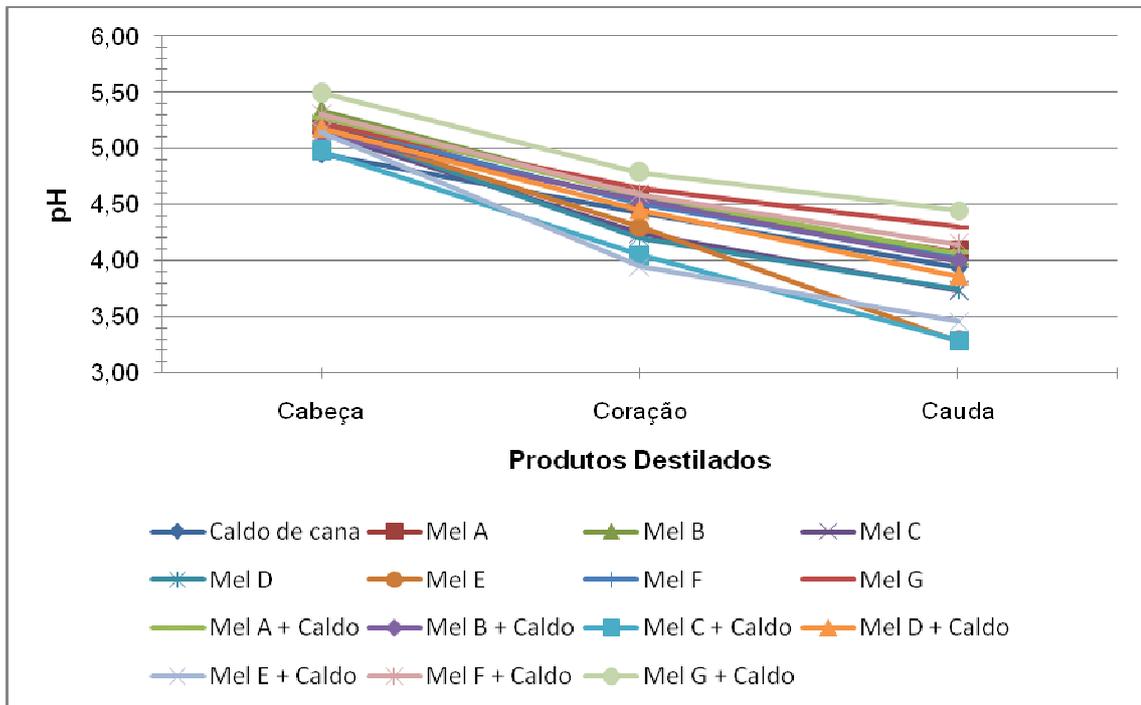
Figura 32 - Acidez Acética das frações obtidas na produção de aguardente.



Fonte. (Autora, 2011)

Potencial Hidrogeniônico (pH) – O pH, ao contrário da acidez acética, apresentou comportamento decrescente na ordem cabeça:coração:cauda. Este comportamento já era esperado haja vista que, em condições normais, quando a acidez se eleva o pH diminui e vice-versa. Os resultados são mostrados na Figura 33.

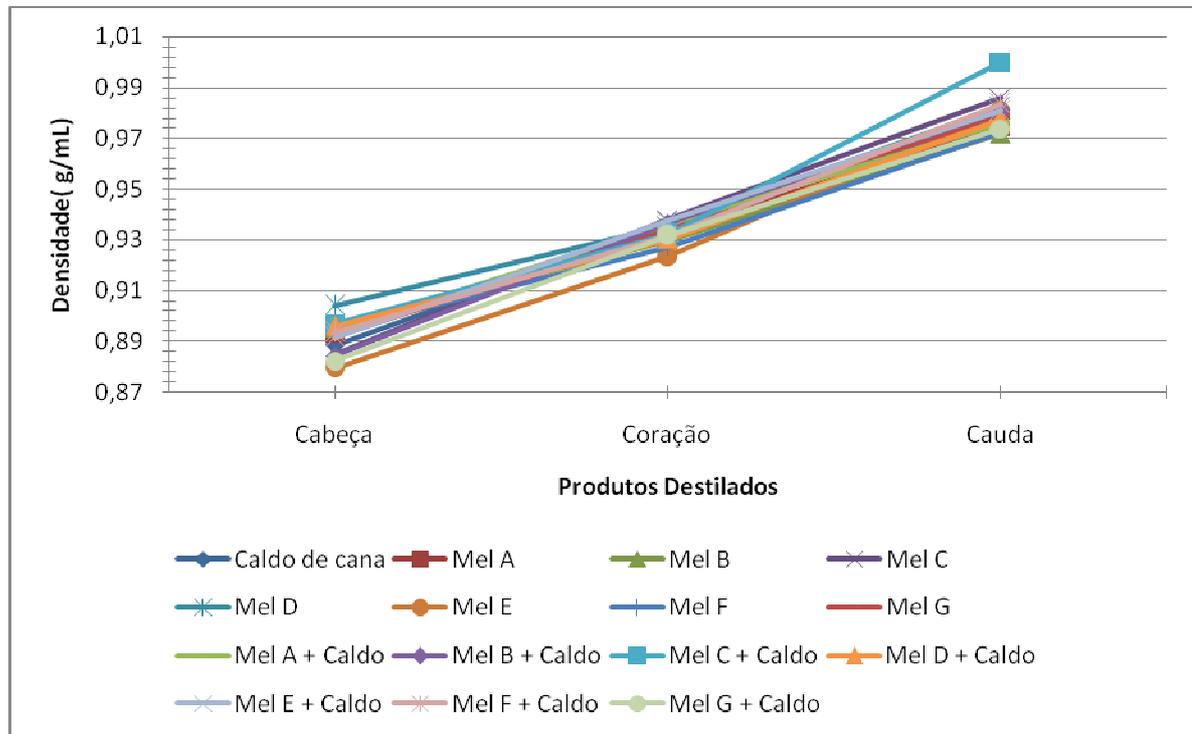
Figura 33 - pH das frações obtidas na produção de aguardente.



Fonte. (Autora, 2011)

Densidade – Para esta determinação, os valores das frações foram crescentes na ordem cabeça, coração e cauda, conforme mostrado na Figura 34, independentemente do tipo de mosto utilizado. Isto indica que os componentes das frações com maior percentual de água apresentam maior densidade, fato este coerente com os valores obtidos. Este fato se justifica pela maior densidade da água (aproximadamente 1g/mL) em relação à das aguardentes (aproximadamente 0,0,93g/mL).

Figura 34 - Densidade das frações obtidas na produção de aguardente.



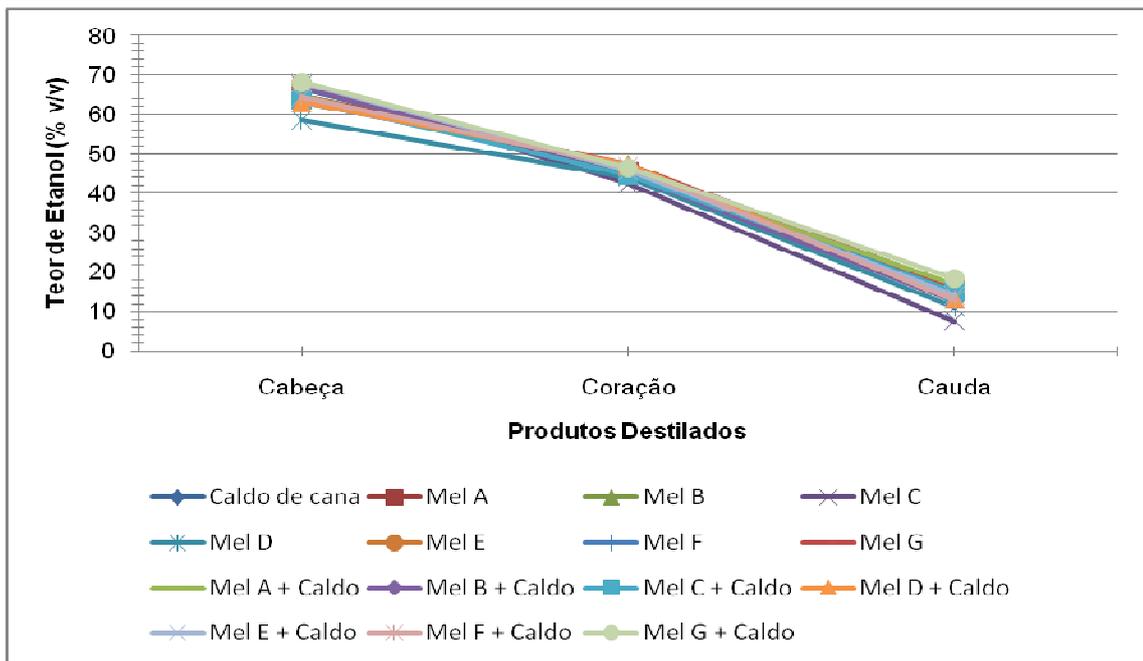
Fonte. (Autora, 2011)

Teor de Etanol – Verifica-se na Figura 35 que a concentração de etanol apresentou comportamento decrescente para as 3 frações obtidas. As frações de cabeça apresentaram valores entre 58,62 e 68,30%vol., as de coração entre 42,52 e 47,47%vol. e as de cauda entre 7,55 e 18,45%vol. Este comportamento é previsível, haja vista que, numa destilação normal, o produto de cabeça é obtido com valores próximos de 70%vol., o de coração de 38 a 48%vol. e o de cauda o menor economicamente possível. Segundo Ribeiro (1997), o destilado de cabeça pode atingir graduação alcoólica que varia entre 65%vol. e 70%vol., valores muito acima do permitido pela legislação vigente para destilados. Os valores encontrados para as aguardentes na fração de coração estão de acordo com os valores recomendados pelo MAPA de 38,00 a 48,00%vol. (Brasil, 2005). A figura 35 evidencia que a aguardente obtida se encontra nesta faixa, sendo obtida sem dificuldades em todas as alambicadas.

Segundo Caruso et. al. (2008), a aguardente de cana deve apresentar teor alcoólico de 38,0 a 54,0% (em volume, a 20°C) e a cachaça, de 38,0 a 48,0%.

Barcelos (2006), analisando aguardentes de diferentes regiões de Minas Gerais encontrou valores médios que variaram de 40,80% a 44,75% v.v⁻¹. Masson (2005) mediu o teor alcoólico real para a fração de coração em aguardente de cana-de-açúcar e constatou valores médios na faixa de 38,00% a 50,44%.

Figura 35 - Teor de etanol das frações obtidas na produção de aguardente.



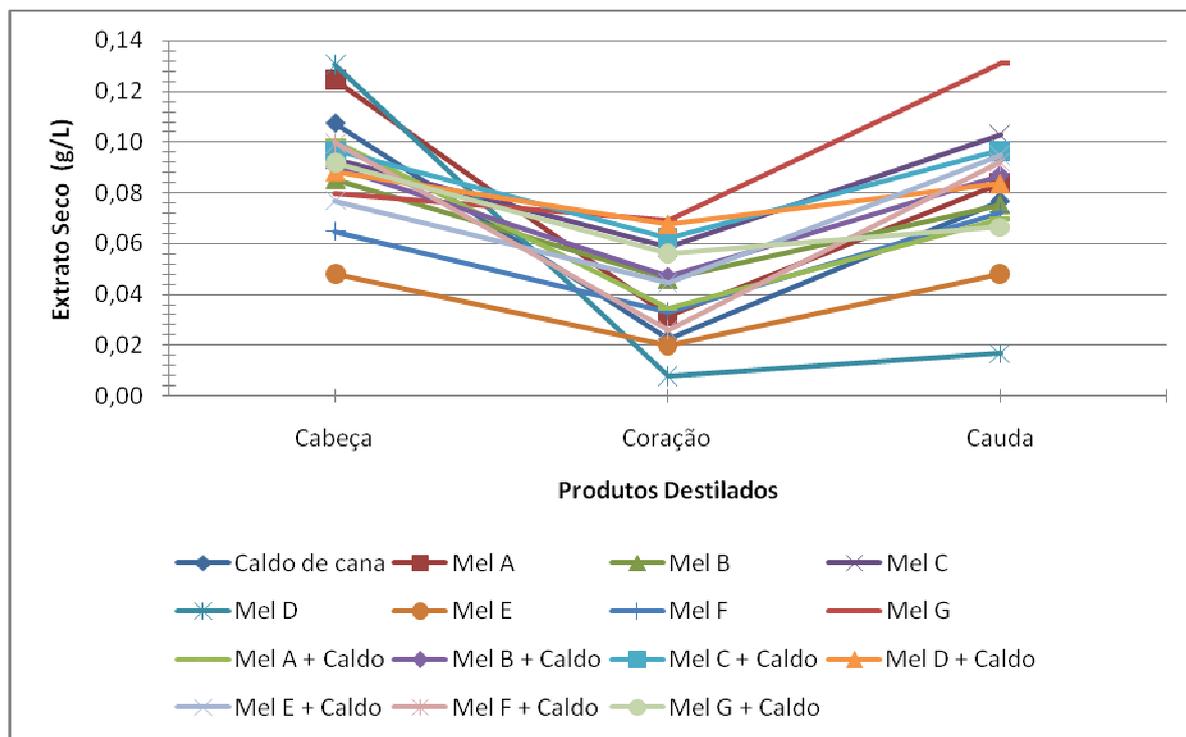
Fonte. (Autora, 2011)

Extrato Seco – Os valores do extrato seco são apresentados na Figura 36, onde se verifica que a aguardente (produto de coração) apresenta os menores valores (entre 0,008 e 0,0693g/L) das 3 frações obtidas. Esta fração, provavelmente pelo fato de ser a mais monitorada (e obtida em maior volume) em todo o processo de destilação, contém menor quantidade de componentes não voláteis e que são quantificados como material não volátil nas condições da determinação do extrato seco. A exceção é o mel E, possivelmente por erro nas medições analíticas.

Ainda não existem limites estabelecidos na legislação para este parâmetro. Os maiores valores de extrato seco foram encontrados nas amostras D e E. Observou-se que estas amostras possuíam teores alcoólicos menores. Caliari et. al. (2009), estudando a produção de cachaça na região de Orizona, estado de Goiás, verificaram comportamento similar. Eles enfatizam que esse comportamento ocorre

quando há excesso de retirada de cauda, o que pode ter arrastado componentes minerais e orgânicos do vinho para a bebida.

Figura 36 - Extrato seco das frações obtidas na produção de aguardente.



Fonte. (Autora, 2011)

5.3 PROCESSO DE ENVELHECIMENTO DAS AGUARDENTES

O processo de envelhecimento foi iniciado, com a aguardente sendo armazenada em barris de carvalho de 5L de capacidade. Os resultados que serão apresentados a seguir se referem à média dos dados obtidos de dois barris, mostrados anteriormente (Figuras 16 e 17). Antes do início do envelhecimento, amostras das aguardentes brancas (BRA) foram coletadas e analisadas. A partir deste instante, foram coletadas mensalmente amostras nos trinta barris (dois para cada tipo de aguardente), onde foram quantificados teor alcoólico, acidez acética, pH, extrato seco, densidade, aspecto visual e cor. Os resultados obtidos nos primeiros seis meses de envelhecimento são analisados a seguir. As Figuras 37 a 48 mostram o comparativo mensal das análises físico-químicas durante os primeiros 6 meses do processo de envelhecimento.

Ressalte-se que, tendo em vista as pequenas quantidades adquiridas dos méis C e D, os volumes correspondentes de aguardente obtidos não foram suficientes para o envelhecimento nas mesmas condições dos demais. Conseqüentemente, as aguardentes resultantes das misturas caldo + mel C e caldo + mel D também não foram submetidas ao processo de envelhecimento.

Acidez acética: A Figura 37 mostra os valores da acidez acética das aguardentes em processo de envelhecimento, onde observa-se que as aguardentes brancas apresentam ligeiro aumento inicial, estabilizando-se a partir do 4º mês de armazenamento. Este comportamento indica que as aguardentes recém-produzidas (brancas), só devem estar prontas para consumo (e envelhecimento) após quatro meses de repouso.

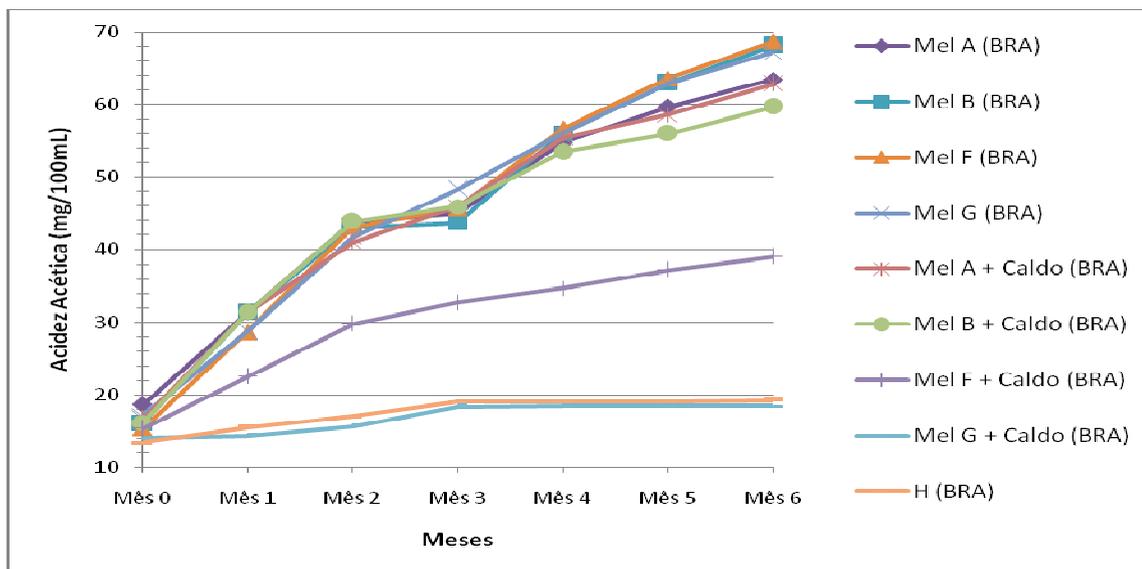
As aguardentes em processo de envelhecimento apresentam comportamento sempre crescente até o 6º mês, não indicando ainda tendência à estabilização e/ou decréscimo. Com a continuação do envelhecimento, certamente que conclusões definitivas poderão ser emitidas. O ambiente onde as aguardentes se encontram em processo de envelhecimento teve temperatura e umidade, no período considerado, de 26 a 32°C e de 41 a 80%, respectivamente. Ressalte-se que o ambiente citado encontra-se com iluminação reduzida, para torná-lo apropriado ao envelhecimento.

Resultados e Discussões

Borragini et. al. (2010), estudando o envelhecimento de cachaça sob circulação forçada e aeração, durante 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias, constataram que, durante o envelhecimento de bebidas, espera-se redução no valor do pH e aumento da acidez total das mesmas, devido à extração de ácidos da madeira e às reações de oxidação de aldeídos e álcoois, que produzem ácidos. Em ambos os processos de envelhecimento, foi observado comportamento similar ao apresentado nesse trabalho, com redução no pH e aumento na acidez. Borragini et. al. (2010) constataram, também, que as cachaças em processo de envelhecimento apresentam valores da acidez acética superiores aos da cachaça branca, que foi armazenada em garrafas de vidro. Miranda et. al. (2008), estudando o perfil físico-químico de aguardente durante envelhecimento em tonéis de carvalho, verificaram o mesmo comportamento, onde a acidez da aguardente aumentou progressivamente ao longo do período de envelhecimento.

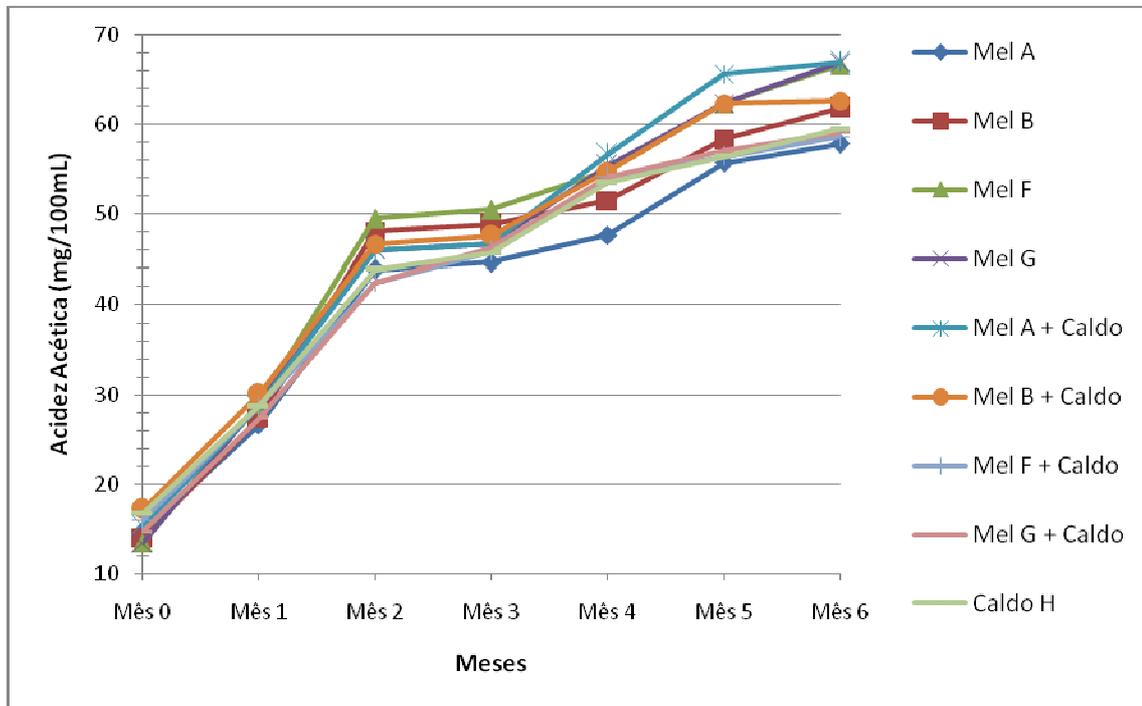
Observa-se nas Figuras 37 e 38 dois grupos distintos. No primeiro (Figura 37), se encontram as aguardentes brancas (recém-produzidas), com comportamento da acidez semelhante, com menores valores. No segundo grupo (Figura 38), com valores distintos e maiores em relação às brancas, se encontram as em processo de envelhecimento. Este comportamento se verifica, com maior ou menor grau de distinção, para todas as variáveis.

Figura 37 - Acidez Acética das aguardentes brancas.



Fonte. (Autora, 2011)

Figura 28 - Acidez Acética das aguardentes em processo de envelhecimento em barris de carvalho de 5 litros.



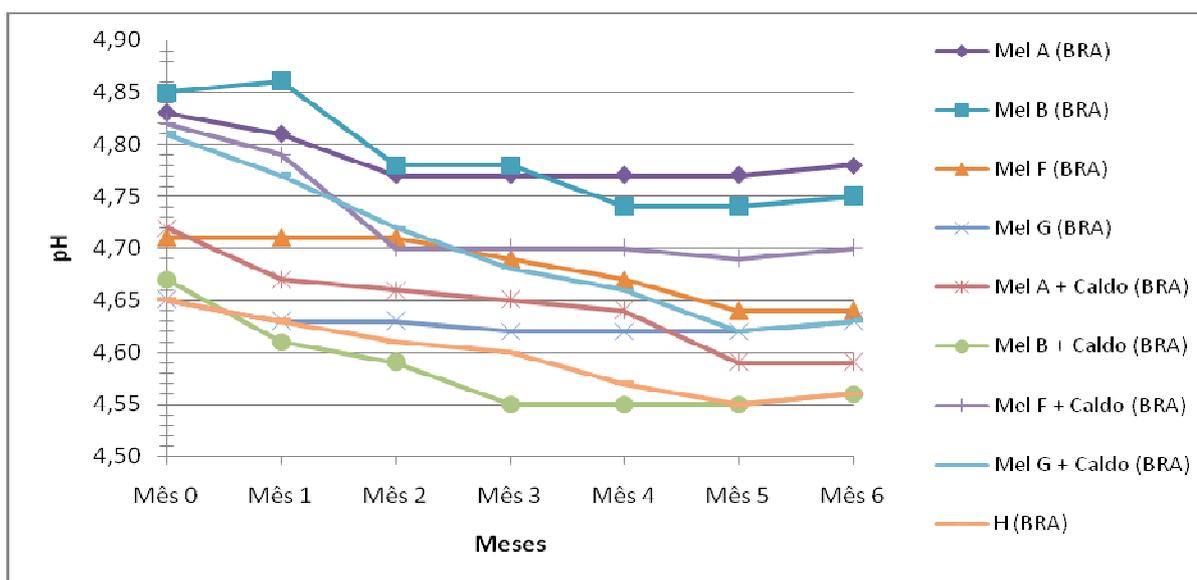
Fonte. (Autora, 2011)

pH: Nas Figuras 39 e 40 estão os valores de pH das aguardentes brancas e em processo de envelhecimento. Pelos valores apresentados, evidencia-se comportamento contrário ao da acidez acética, porém já apresentando tendência à estabilização a partir do 4º mês de envelhecimento (aguardente em processo de envelhecimento) e da branca a partir do 3º mês de armazenamento.

Estes resultados estão coerentes, pois Borragini et. al. (2010) verificaram comportamento semelhante estudando envelhecimento de cachaça sob circulação forçada e aeração, utilizando dois ancorotes de carvalho (*Quercus* sp) de 5 litros cada à temperatura entre 25 e 30°C. Parazzi et. al. (2008) estudaram a caracterização da aguardente de cana envelhecida e constataram que houve diminuição dos valores de pH ao longo do tempo, para as aguardentes armazenadas em barris de carvalho de 250 litros. Eles enfatizam que, na madeira, o decréscimo do pH pode está relacionado ao aumento da acidez, em consequência do aumento das concentrações de ácidos no meio, principalmente pela presença dos compostos fenólicos.

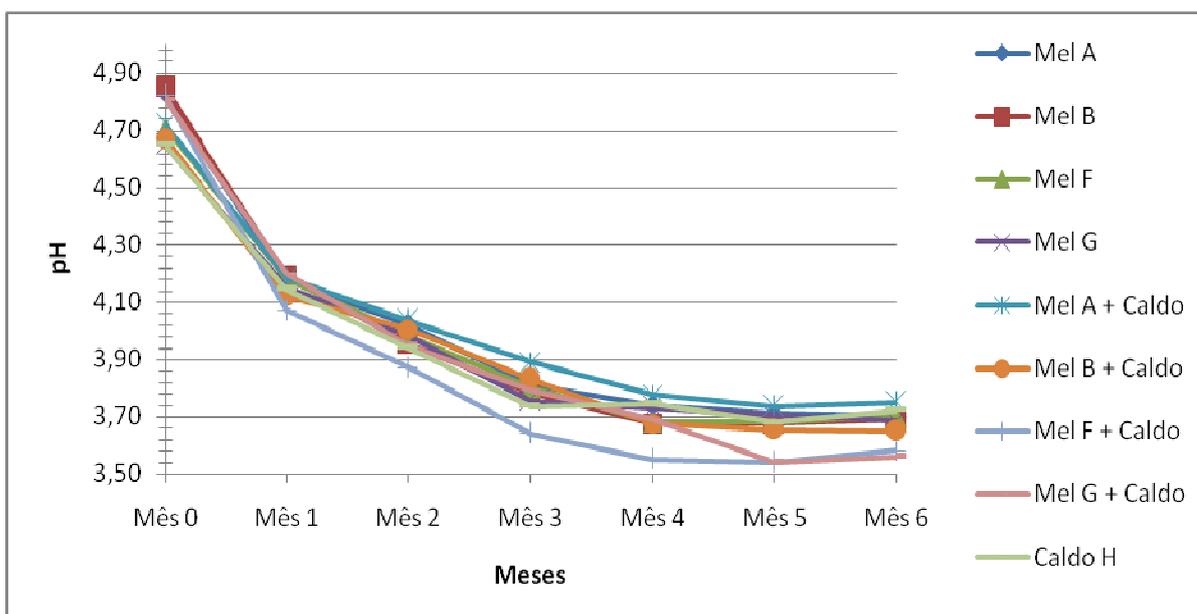
Nas aguardentes em processo de envelhecimento (Figura 39), a queda no pH foi acentuada já no primeiro mês, com tendência à estabilização a partir do quinto mês. As brancas, armazenadas em garrafas de vidro, apresentaram comportamento ligeiramente decrescente (Figura 40), com tendência à estabilização a partir do 3º mês.

Figura 29 - pH das aguardentes brancas.



Fonte. (Autora, 2011)

Figura 40 - pH das aguardentes em processo de envelhecimento em barris de 5 litros.

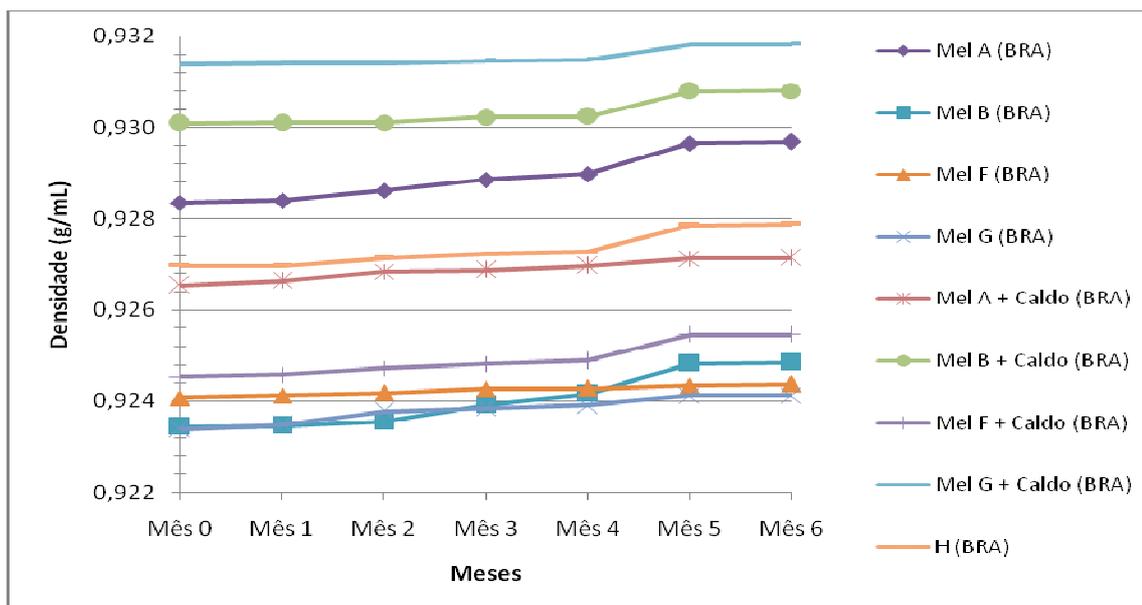


Fonte. (Autora, 2011)

Densidade: As Figuras 41 e 42 mostram que a densidade das aguardentes em processo de envelhecimento (Figura 42) aumenta com o tempo, enquanto as brancas (Figura 41) mantêm-se aproximadamente constantes. Como no processo de envelhecimento são incorporados à aguardente componentes da madeira, é natural o aumento da densidade da aguardente armazenada em barris de madeira. As aguardentes brancas têm densidade aproximadamente constante, pois foram armazenadas em garrafas de vidro e, portanto, poucas modificações ocorrem principalmente as que produzem aumento de densidade.

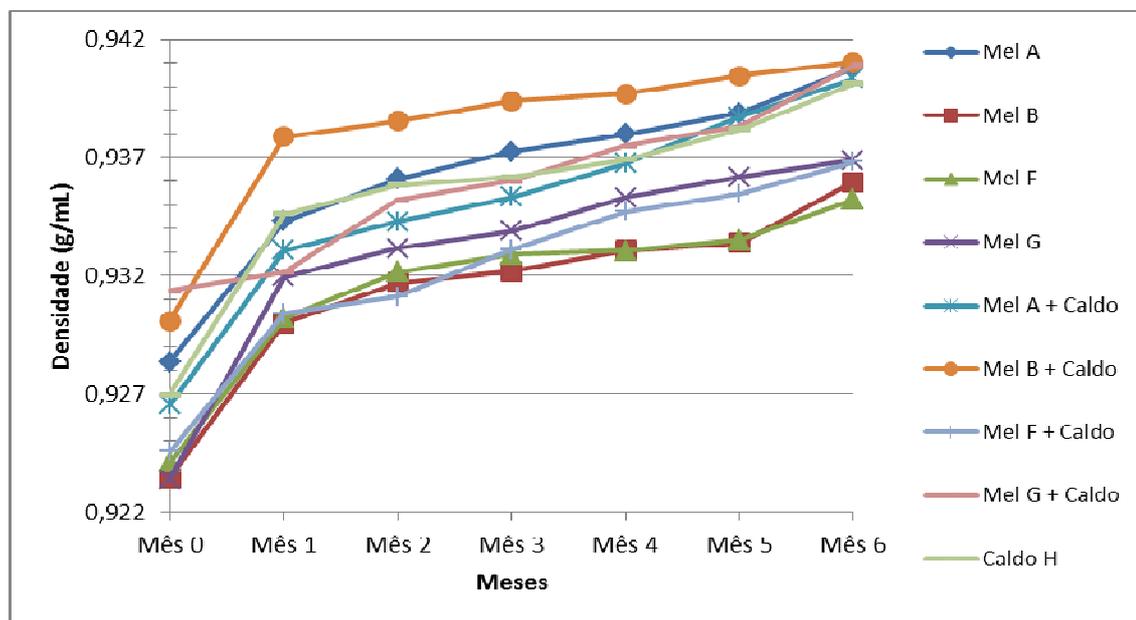
Esse comportamento está de acordo com o encontrado por (Silva e Vasconcelos, 2009), que trabalharam com o envelhecimento de cachaça artesanal em tonéis de diversos tipos de madeira, com 20 litros de capacidade e observaram variação da densidade com o tempo de envelhecimento, para as 1ª e 2ª utilizações, utilizando tonéis de Bálamo, Carvalho, Castanheira, Ipê, Jatobá, Jequitibá, Peroba, Timborana e Umburana. Eles concluíram que, na segunda utilização, houve tendência de crescimento um pouco mais discreta em seus valores se comparados ao primeiro ano de utilização dos tonéis.

Figura 41- Densidade das aguardentes brancas.



Fonte. (Autora, 2011)

Figura 42 - Densidade das aguardentes em processo de envelhecimento em barris de 5 litros.



Fonte. (Autora, 2011)

Teor de Etanol: Nas Figuras 43 e 44 são apresentados os valores do teor de etanol das aguardentes brancas (Figura 43) e em processo de envelhecimento (Figura 44). Pelos resultados apresentados, verificou-se redução do teor de etanol no 1º mês de envelhecimento, provavelmente pelo fato de os barris serem novos (1ª utilização), quando a madeira absorve quantidade considerável de etanol e de água, até que a saturação da madeira seja concluída. A partir do primeiro mês, há tendência de estabilização dos valores, com pequenas oscilações atribuídas às variações da umidade e da temperatura do ambiente de envelhecimento. Nas cachaças brancas, houve ligeira redução no primeiro mês, tendendo à estabilização a partir do segundo mês de armazenamento.

Fatores como a temperatura, a umidade do ar e a aeração do ambiente reduzem o volume e, conseqüentemente, o teor alcoólico durante o armazenamento em madeira. Vários componentes das aguardentes têm suas concentrações modificadas durante o envelhecimento, devido à evaporação parcial do etanol e da água, que pode representar 1 a 3% do volume do ano precedente (MAIA, 1994).

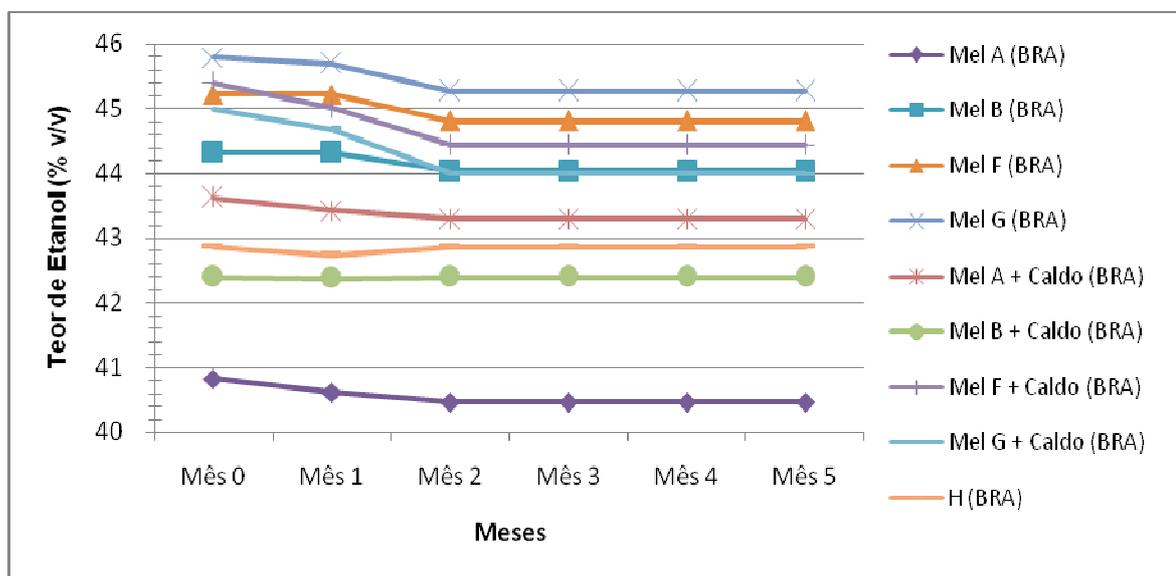
Borragini et. al. (2010) estudaram o envelhecimento utilizando o processo tradicional e o processo de aeração, constatando que os resultados obtidos revelam, no caso do processo de envelhecimento tradicional e ao final de seis meses, um

aumento de 22,5% no teor alcoólico, devido provavelmente ao clima mais seco da época do experimento, que favoreceu uma maior evaporação da água em relação ao álcool. Já nas amostras submetidas ao processo de envelhecimento forçado sob aeração, a graduação alcoólica, ao contrário, apresentou redução de 2,5%, provavelmente devido à circulação e à aeração realizadas durante o processo, o que favoreceu, neste caso, uma maior evaporação da fração álcool presente nas amostras.

Miranda et. al. (2006) afirmam que a baixa umidade relativa do ar pode favorecer a perda de água, enquanto a alta umidade favorece a perda de álcool dos tonéis. As perdas durante o ano dependem, além das variações climáticas, de vários outros fatores como dilatação e contração da aguardente dentro do tonel, de vazamento e expulsão de aguardente por frestas, e conseqüente aspiração do ar por contração no resfriamento em ocorrências sucessivas, devido à inadequação de instalações e de ambiente.

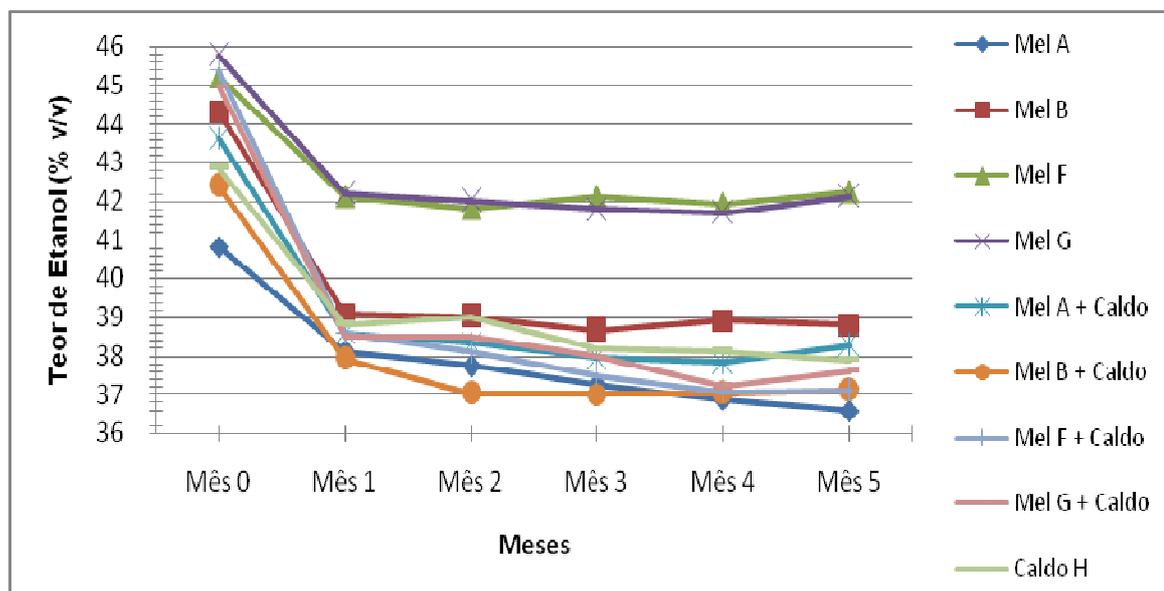
Parazzi et. al. (2008) estudaram a caracterização da aguardente de cana envelhecida e constatou que o teor alcoólico não variou expressivamente em função do tempo de armazenamento, uma vez que a tendência seria a sua diminuição. Eles observaram variação média do teor alcoólico de 45,14 a 45,77°GL para aguardente armazenada em barril de carvalho de 250 litros e de 45,14 a 46,36 °GL para aguardente armazenada em vidros de 50 litros. Após três anos de armazenamento houve tendência na estabilização da concentração de etanol em ambos os recipientes.

Figura 43 - Teor Alcoólico das aguardentes brancas.



Fonte. (Autora, 2011)

Figura 44 - Teor Alcoólico das aguardentes em processo de envelhecimento em barris de 5 litros.



Fonte. (Autora, 2011)

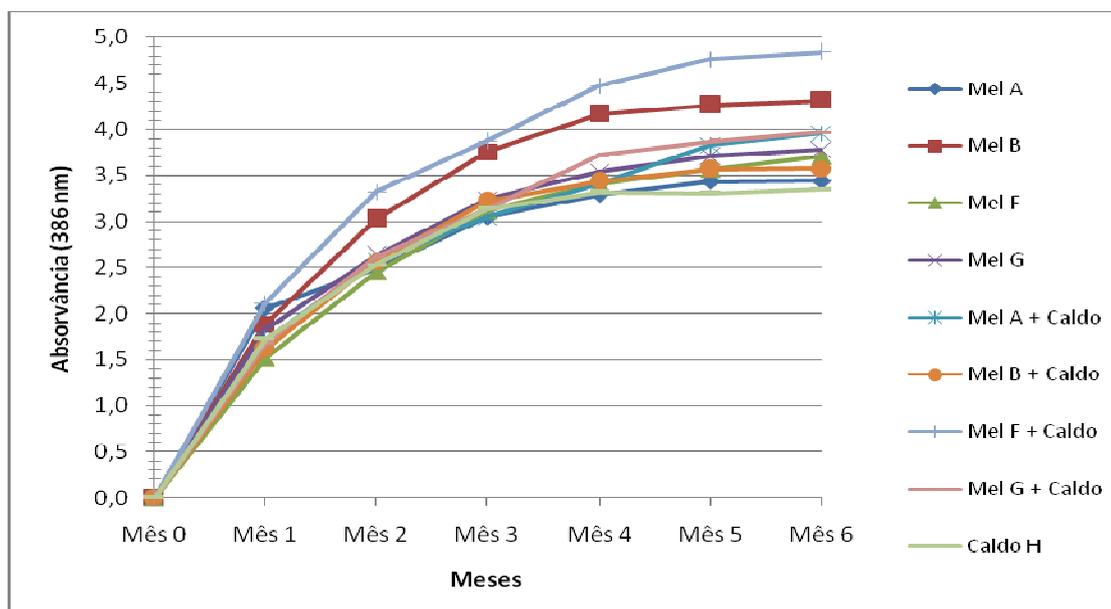
Cor: A Figura 45 mostra as determinações de cor feitas em espectrofotômetro Micronal, modelo b442 e com 386nm. Os resultados evidenciam aumento contínuo da cor, como resultado da incorporação de compostos corados da madeira à aguardente em processo de envelhecimento. As aguardentes brancas não apresentam aumento da cor durante o armazenamento, desde que feito de forma adequada em reservatórios de vidro.

Borragini et. al. (2010), estudando o envelhecimento de cachaça sob circulação forçada e aeração, durante 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias, verificaram que o processo de envelhecimento de aguardente em barris de carvalho no processo de aeração é menos eficiente que as envelhecidas no processo de tradicional, indicando ser este sistema responsável provavelmente por uma maior extração de componentes da madeira, interferindo de forma considerável no aparecimento da cor.

As reações que ocorrem durante o envelhecimento favorecem a formação de compostos que influenciam a cor, o odor e o sabor das bebidas destiladas (MENDES et. al., 2002).

Os resultados estão de acordo com os encontrados por Miranda et. al. (2008), que estudaram o perfil físico-químico de aguardente durante o envelhecimento em tonéis de carvalho, verificando que a coloração da aguardente ao longo do período de envelhecimento tornou-se amarelada, devido à extração de compostos, principalmente taninos, e suas reações de oxidação, que segundo Singleton (1995), são os maiores responsáveis pelo progressivo escurecimento ou intensificação da cor amarelo-alaranjado em bebidas sob maturação em madeiras.

Figura 45 - Cor das aguardentes em processo de envelhecimento em barris de carvalho de 5 litros.



Fonte. (Autora, 2011)

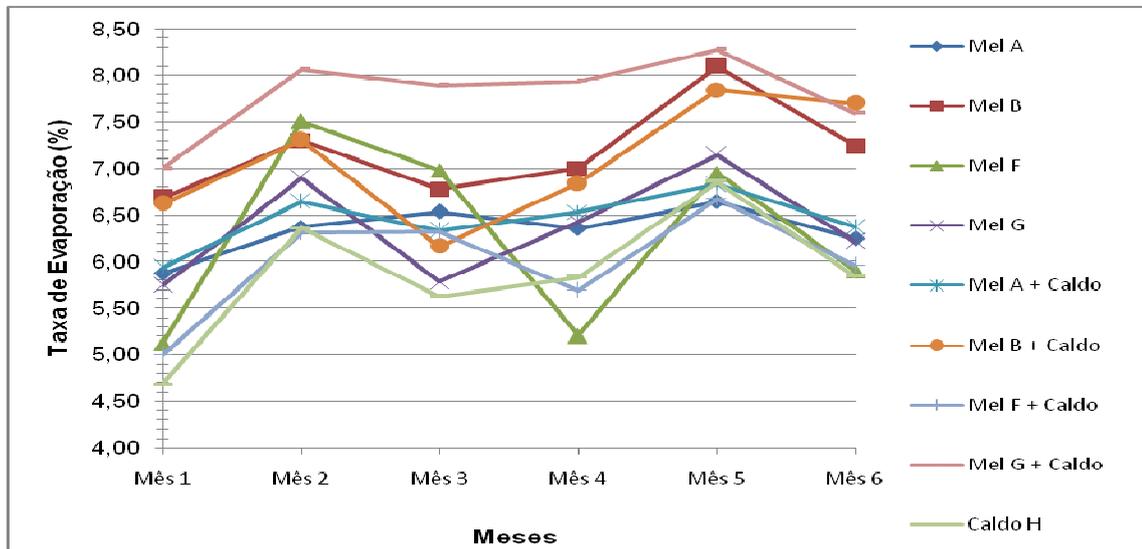
Taxa de evaporação: Na Figura 46 estão apresentados os valores da taxa de evaporação mensal das aguardentes em processo de envelhecimento. Os valores são elevados devido ao baixo volume dos barris utilizados, que acarreta elevada superfície de contato aguardente/madeira, quando se compara com barris de maior volume. Interferem, também, as temperaturas ambientes elevadas, assim como as variações ocorridas no ambiente de envelhecimento.

Estes resultados estão coerentes, pois Borragini et. al. (2010) em estudo sobre envelhecimento de cachaça obtiveram resultados que revelaram perdas significativas em ambos os casos, sendo registrada uma perda de 45,3% no processo tradicional e de 39,5% no processo de envelhecimento com circulação forçada e sob aeração. As reduções volumétricas ocorridas neste experimento não devem ser comparadas com as perdas, geralmente menores, observados em barris de 200 a 700 litros, normalmente utilizados no envelhecimento de bebidas destiladas.

Piggott e Conner (2003) enfatizam que, tonéis de menor capacidade volumétrica, têm maiores relações superfície/volume e, conseqüentemente, resultam em maior rapidez de extração de componentes, mas também maiores taxas de evaporação de álcool etílico e de água.

Fatores como a temperatura, a umidade do ar e a aeração do ambiente reduzem o volume e, conseqüentemente, o teor alcoólico durante o armazenamento em tonel de madeira. Vários componentes das aguardentes têm suas concentrações modificadas durante o envelhecimento, devido à evaporação parcial do etanol e da água, que pode representar 1 a 3% do volume do ano precedente (MAIA, 1994). Parazzi et. al. (2008) estudaram a caracterização da aguardente de cana envelhecida e chegaram a conclusão que a baixa umidade relativa do ar pode favorecer a perda de água, enquanto a alta umidade favorece a perda de álcool dos tonéis. As perdas durante o ano dependem, além das variações climáticas, de vários outros fatores como dilatação e contração da aguardente dentro do tonel, além de vazamento.

Figura 46. Taxa de evaporação das aguardentes em processo de envelhecimento em barris de carvalho de 5 litros.

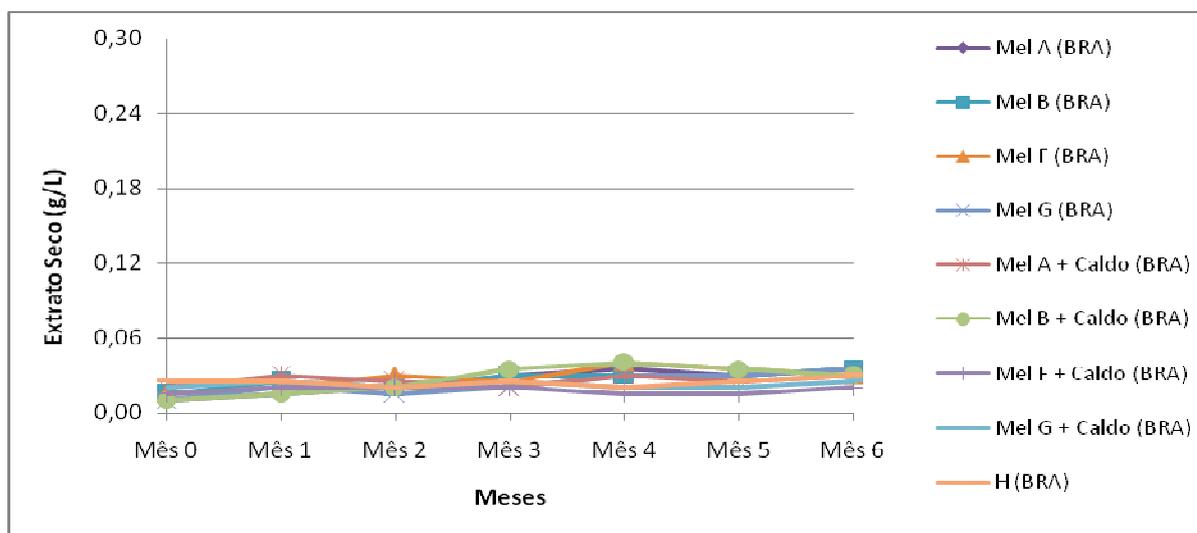


Fonte. (Autora, 2011)

Extrato seco: Na Figura 48 estão mostrados os valores do extrato seco das aguardentes em processo de envelhecimento. Estes valores apresentam o mesmo comportamento da densidade, pelas mesmas razões apresentadas naquela oportunidade. As aguardentes brancas (Figura 47) não apresentam variações em seus valores (próximos de zero), pelas mesmas razões citadas para o caso da aguardente em processo de envelhecimento.

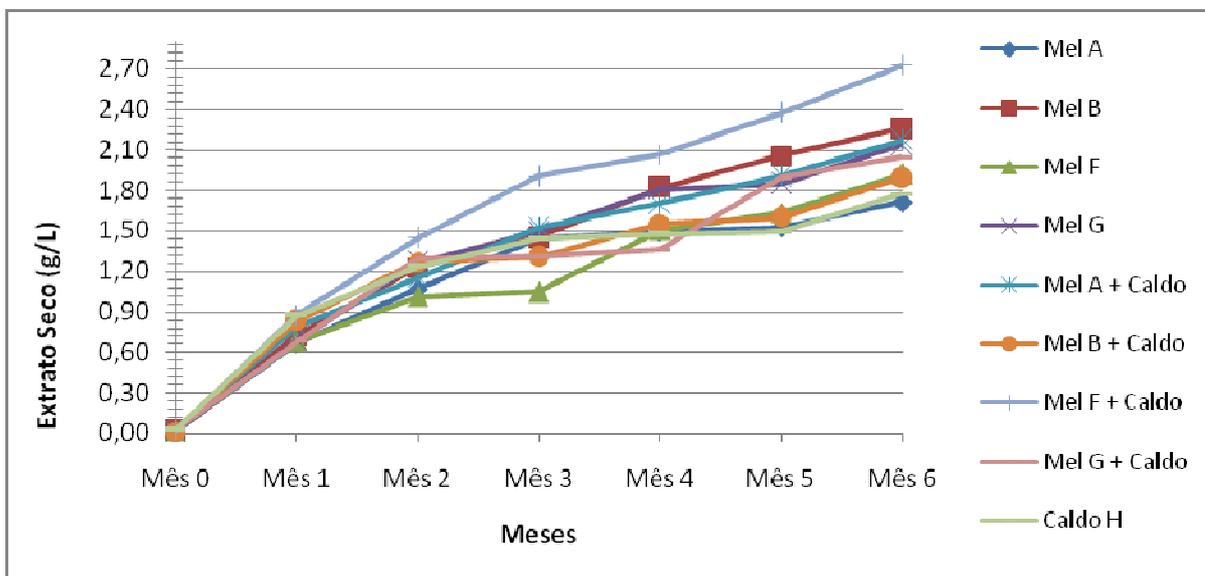
Os resultados estão de acordo com os encontrados por Miranda et. al.(2008), que estudaram o perfil físico-químico de aguardente durante envelhecimento em tonéis de carvalho, verificando que o teor de extrato seco da aguardente aumentou com o período de envelhecimento. Piggott e Conner (2003) enfatizam que, durante o envelhecimento, o aumento do teor de extrato seco na aguardente ocorre devido à degradação da lignina pelo etanol, em compostos aromáticos como a vanilina, siringaldeído, coniferaldeído e sinapaldeído. Além da extração destes compostos pelo álcool etílico, ocorrem ainda alterações na lignina em decorrência de oxidações e etanolise, as quais determinam denominações como “vanila”, “adocicado” e “amadeirado” no destilado. Enfatizam ainda que, em tonéis menores, são esperadas produções maiores de extratos e envelhecimento de destilados em um período de tempo mais curto.

Figura 47 - Extrato Seco das aguardentes brancas.



Fonte. (Autora, 2011)

Figura 48 - Extrato Seco das aguardentes em processo de envelhecimento em barris de carvalho de 5 litros.

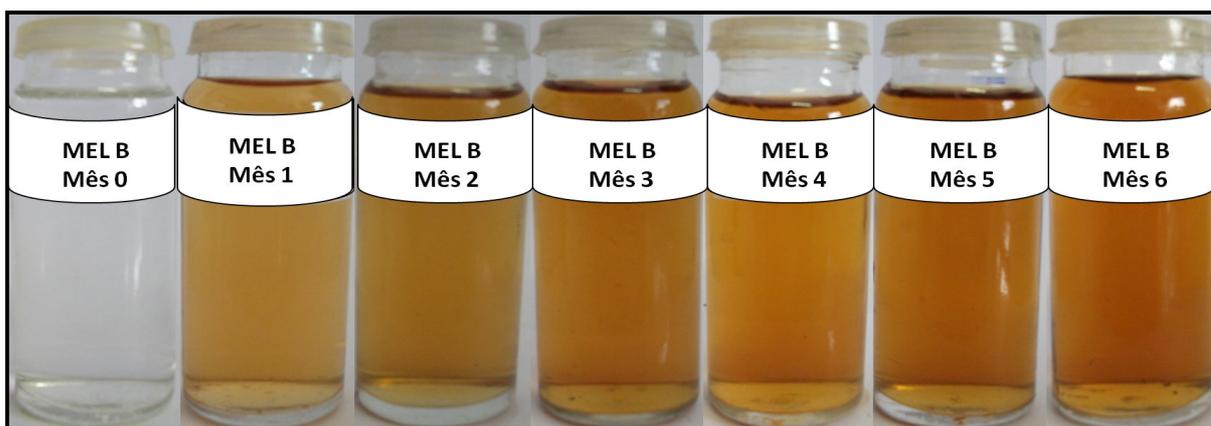


Fonte. (Autora, 2011)

Observou-se que no processo de envelhecimento as aguardentes de mel-de-abelhas de diferentes floradas e de caldo de cana-de-açúcar apresentaram, em todos os casos, tonalidades semelhantes às normalmente envelhecidas em barris de carvalho; apresentam cor amarelo dourado característico e é tanto mais intenso quanto maior é o tempo de envelhecimento, conforme pode ser verificado nas Figuras 49, 50 e 51, escolhidas aleatoriamente para a visualização da cor das

aguardentes em processo de envelhecimento. As demais aguardentes, em processo de envelhecimento, apresentaram coloração semelhante (Figuras 52 a 60, apêndice 1). Ressalte-se que, conforme comentado anteriormente, quanto menor o volume do barril, maior a área de contato madeira/aguardente e, conseqüentemente, a coloração se torna mais acentuada, na mesma unidade de tempo, que a aguardente em processo de envelhecimento em barril de maior capacidade volumétrica. Este fato foi confirmado por Mori et. al. (2003), que estudaram eucaliptos e madeiras nativas no armazenamento da aguardente de cana-de-açúcar.

Figura 49 - Aguardente em processo de envelhecimento, obtida com o mel B, nos primeiros 6 meses de envelhecimento em barril de carvalho de 5 litros de capacidade.



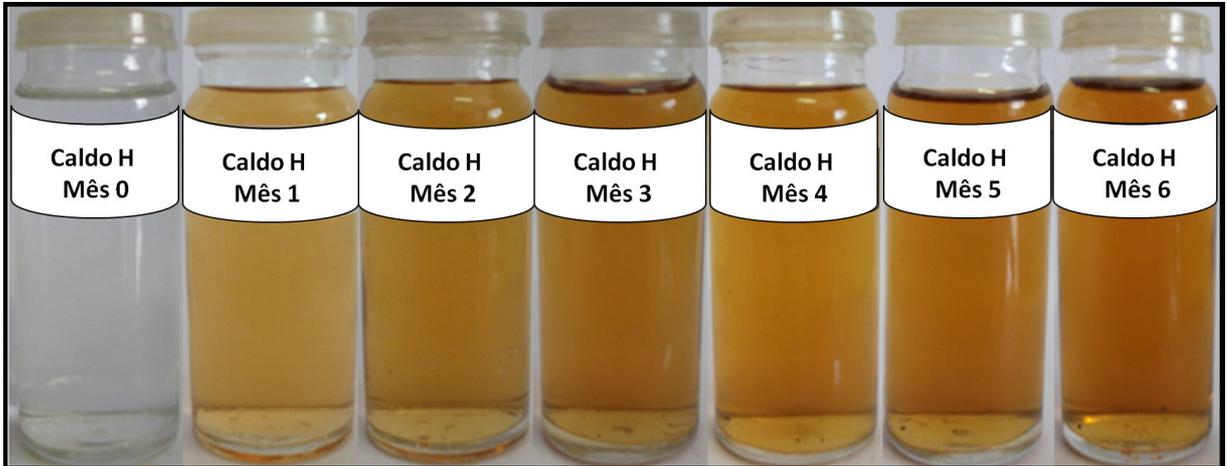
Fonte. (Autora, 2011)

Figura 50 - Aguardente em processo de envelhecimento, obtida com o mel B + Caldo, nos primeiros 6 meses de envelhecimento, em barril de carvalho de 5 litros de capacidade.



Fonte. (Autora, 2011)

Figura 51 - Aguardente em processo de envelhecimento, obtida com Caldo de cana-de-açúcar, nos primeiros 6 meses de envelhecimento em barril de carvalho de 5 litros de capacidade.



Fonte. (Autora, 2011)

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos indicam que é possível a produção de aguardente de mel de abelhas de diferentes floradas, com características físico-químicas adequadas, podendo ser adotada por qualquer unidade industrial de produção de cachaça.

A produção de aguardente utilizando-se mostos mistos (mel de abelhas de diferentes floradas e caldo de cana-de-açúcar) poderá resultar em bebida com características físico-químicas e sensoriais superiores às da aguardente de cana-de-açúcar. Por outro lado, as bebidas obtidas com os mostos mistos, apresentam características físico-químicas e sensoriais semelhantes às obtidas com os respectivos méis puros. Esta mistura reduz os custos de produção da aguardente, quando se compara com a produzida a partir dos respectivos méis puros.

Quando se trabalhou com mosto de mel de abelhas, o que apresentou melhor eficiência de fermentação foi o mel G (Florada mista, oriundo do estado do Ceará), porém, quando se trabalhou com mosto misto, o melhor desempenho foi obtido com o mel C (Florada mista, oriundo do Município de Pão-de-Açúcar – AL).

SUGESTÕES

Para a continuação deste estudo, as seguintes sugestões poderiam ser executadas:

- Estudar o envelhecimento das aguardentes obtidas em barril de carvalho e de outros tipos de madeira, em período superior a 12 meses;

- Realizar a análise sensorial das aguardentes obtidas com os méis de abelhas de diferentes floradas e de cana de açúcar;

- No acompanhamento do envelhecimento, realizar análises cromatográficas trimestrais por período superior a 12 meses, para verificação do comportamento de ésteres, aldeídos, cumarina, siringaldeído, entre outros.

REFERÊNCIAS

ALCARDE, A. R.; SOUZA, P. A. DE.; BELLUCO, A. E. S. **Aspectos da composição química e aceitação sensorial da aguardente de cana-de-açúcar envelhecida em tonéis de diferentes madeiras.** Ciência Tecnologia de alimentos, Campinas, v. 30, 2010.

ALVIN, N. V. **O mel e suas características.** Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária, (periodicidade semestral). Edição n. 3, 2004.

AQUARONE, E.; LIMA, U.A.; BORZANI., V.;; SCHMIDELL,W. **Biotechnologia na produção de alimentos.** (Série Biotechnologia Industrial). Edgar Blücher LTDA, São Paulo, v.4, p. 145-180, 2001.

AZEREDO, M. A. A.; AZEREDO, L. C. **Características físico-químicas dos méis do município de São Fidélis-RJ.** Ciência e Tecnologia de Alimento, v. 19, n. 1, p. 3-7, 1999.

BARCELOS, L. V. F. **Teores de carbamato de etila e outros componentes secundários em diferentes aguardentes produzidas em Minas Gerais.** 2006. Dissertação (Mestrado em ciência dos alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

BARRE, P. et al. La levadura de fermentación alcohólica. In: FLANZY, C. **Enología: fundamentos científicos e tecnológicos.** Madrid: Mundi-Prensa e AMV, 2000, p. 274-315.

BRASIL. **Regulamento técnico de identidade e qualidade do mel.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Seção 1, p.16-17, Brasília, 23 out. 2000.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.** Instrução Normativa n. 13, de 29 de junho de 2005. Diário Oficial, Brasília, 30 de junho 2005a, n. 124, Seção 1, p 3.

BOGDANOV, S.; RUOFF, K.; ODDO, L. P. **Physico-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys: a review.** Apidologie, v.35, p.4-17, 2004.

BORRAGINI, M.de C.C; FARIA, J.B. **Envelhecimento de cachaça sob circulação forçada e aeração.** Alim. Nutr., Araraquara, v.21, n.1, p. 25-30, jan./mar. 2010.

-
- CALIARI, V. et al. **Diagnóstico da produção de cachaça na região de orizona, estado de Goiás, Brasil Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 39, n. 1, p. 61-71, 2009.
- CAMPOS, M.G.R. **Contribuição para o estudo do mel, pólen, geléia real e própolis**. Boletim da Faculdade de Farmácia de Coimbra, Coimbra, v.11, n.2, p.17-47, 1987.
- CARDELLO, H. M. A. B.; FARIA, J. B. **Análise descritiva quantitativa de aguardente de cana durante o envelhecimento em tonel de carvalho (*Quercus alba L.*)**. Ciência Tecnologia de alimentos, Campinas, v. 18, n. 2, p. 169-175, 1998.
- CARDELLO, H. M. A. B.; FARIA, J. B. **Análise tempo-intensidade de características sensoriais de cachaça de cana durante o envelhecimento em tonel de carvalho (*Quercus sp.*)**. Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 33, n. 1, p. 27-34, 1999.
- CARUSO, M. S F.; NAGATO, L. A. F.; ALABURDA, J. **Avaliação do teor alcoólico e componentes secundários de cachaças**. Rev. Inst. Adolfo Lutz (Impr.), São Paulo, v. 67, n. 1, abr. 2008. Disponível em <<http://periodicos.ses.sp.bvs.br/scielo.php?>>. Acesso em 28 abr. 2011.
- CATALAN, J.M.B. **Relatório de atividades**. Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Piauí. Teresina, 1981. 27p.
- CECCATO-ANTONINI, S.R. **Métodos de análises e monitoramento microbiológico em laboratório de destilaria**. Araras: UFSCar, 2004. 33 p. (Apostila).
- CHERUBIN, R.A. **Efeitos da adição de benzoato de sódio na fermentação alcoólica para produção de aguardente de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. (Dissertação). Piracicaba, ESALQ/FC, 1998. 68p.
- CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 15, CONGRESSO BRASILEIRO DE MELIPONICULTURA, 1, 2004, **Anais...**, Natal, 2004, p. 1-7.
- COSTA, M. et al. **Screening in mice of some medicinal plants used for analgesic purposes in the state of São Paulo**. Part II. Journal of Ethnopharmacology, v. 27, n. 1-2, p. 25-33, 1989.

CRANE, E. **O livro do mel**. São Paulo, Nobel, 226p, 1983.

DANTAS, H.J. et al. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande, v.9, n.2, p.101-109, 2007

DIAS, S.M.B.C. **Efeito de diferentes tipos de madeira sobre a composição química da aguardente de cana envelhecida**. Belo Horizonte, 1997. 110 p. (Dissertação) Faculdade de Farmácia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (eds.) **Cana-de-açúcar: Bioenergia, açúcar e álcool – Tecnologias e perspectivas**. Viçosa, 2010. 577 p.

EVANGELISTA-RODRIGUES, A. et al. **Análise físico-química dos méis das abelhas *Apis mellifera* e *Melipona scutellaris* produzidos em duas regiões no Estado da Paraíba**. Ciência Rural, Santa Maria, v.35, p.1166-1171, 2005.

JONES, R. P.; PAMMENT, N.; GREENFIELD, P. F. **Alcohol fermentation by yeasts: The effect of environmental and other variables**. Process Biochemistry, London, v.16, 1981, p. 42-49.

LIMA, U.A. et al. **Processos fermentativos e enzimáticos**. (Série Biotecnologia Industrial). São Paulo, Edgar Blücher LTDA, v.3 p. 1-39, 2001.

MAIA A. B. **Componentes secundários da aguardente**. STAB, Piracicaba, v. 12, n. 6, p. 29-34, 1994.

MAIA, A. B. R. A.; CAMPELO, E. A. P.; **Tecnologia da Cachaça de Alambique**. Editora SEBRAE/MG; SINDBEBIDAS: Belo Horizonte, 2006.

MARCHINI, L. C. **Caracterização de amostras de méis de *Apis mellifera* L. 1758 (Hymenoptera: Apidae) do Estado de São Paulo, baseada em aspectos físico-químicos e biológicos**. Piracicaba- SP, 2001. 83f. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

MASSON, J. **Parâmetros físico-químicos e cromatográficos em aguardentes de cana queimada e não queimadas**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

-
- MELLO, N. B. **Guia Prático do Apicultor**. São Paulo: Ground, 158 p., 1989.
- MENDES, L. M.; MORI, F. A.; TRUGILHO, P. F. **Potencial da madeira de agregar valor à cachaça de alambique**. Informe agropecuário, Belo Horizonte, v. 23, n. 217, p. 52-58, 2002.
- MIRANDA, M. B.; HORRIL, J.; ALCARDE, A. R. **Estudo do efeito da irradiação gama (Cobalto 60) na qualidade da cachaça e no tonel de envelhecimento**. Ciência e Tecnologia de Alimentos. Campinas, v. 26, n. 4, p. 772-778, 2006.
- MIRANDA, B.M; MARTINS, S. G.; HORRIL, J. **Perfil físico-químico de aguardente durante envelhecimento em tonéis de carvalho**. Tecnologia Alimentos. vol. 10, Campinas, 2008.
- MOREIRA, R. F. A. et al. **Flavor composition of cashew (*Anacardium occidentale*) and marmeleiro (*Cróton sp*) honeys**. J. Agric. Food Chem. 2002.
- MORI, F. A. et al. **Utilização de eucaliptos e de madeiras nativas no armazenamento da aguardente de cana-de-açúcar**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 23, n. 3, p. 396-400, 2003.
- MOTA, I.C.S. **Apostila de Bioquímica da Pontifícia Universidade Católica de Goiás**. P.3-13, 2009.
- NÓBREGA, I.C. C; PAIVA, J.E. DE. **Apostila de tecnologia de produtos agropecuários**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, p.76. Recife,2009.
- OLIVEIRA, E. G.; **Métodos físico-químicos**; Apostila adotada em aula prática; Universidade Federal de Alagoas, 2007.
- PARAZZI, C. et al. **Avaliação e caracterização dos principais compostos químicos da aguardente de cana-de-açúcar envelhecida em tonéis de carvalho (*Quercus sp.*)**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 28, n. 1, p. 193-199, 2008.
- PEREIRA, F. M. et al. **Produção de mel**. Versão eletrônica, 2003. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mel/SPMel/mel.htm>> acesso em 11/09/ 2010.

PIGGOTT, J. R.; CONNER, J. M. Whiskies. In: LEA, A. G. H.; PIGGOTT, J. R. (Eds.). **Fermented beverage production**. 2 ed. New York: Klumer Academic, 2003. cap. 11, p. 239-262.

RIBEIRO, J. C. G. M. **Fabricação Artesanal da Cachaça Mineira**. Belo Horizonte, Ed. Perform, 1997.

SANTOS, A. M. dos. **Estudo da influência da complementação de nutrientes no mosto sobre o processo de fermentação alcoólica em batelada**. Dissertação (Mestrado em Química e Biotecnologia), Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

SCHMIDELL, W. et al. **Engenharia Bioquímica**. (Série Biotecnologia Industrial). EDGAR BLÜCHE LTDA, São Paulo, v.2 p. 205-242, 2001.

SEBRAE-ES. **Fábrica de aguardente de cana-de-açúcar (apostila)**. Vitória, 2001.

SEBRAE-ES. **Recomendações de controle Ambiental para produção de cachaça (apostila)** Vitória 2001. Campo grande, 2007.

SERRANO, R. B.; VILLANUEVA, M. T. O.; MARQUINA, A. D. **La miel. Edulcorante natural por excelência**. Alimentaria. n. 253, p.25-35, 1994.

SILVA, C. L.da; QUIROZ, A. J. de M.; FIGUERÊDO, R. M. F. de. **Caracterização físico-química de méis produzidos no estado de Piauí para diferentes floradas**. Rev. Bras. Eng. Agric. Ambient. Campina Grande, v. 8, n. 2-3, 2004.

SILVA, B.V. VASCONCELOS J.N DE. **Envelhecimento de cachaça artesanal em tonéis de diversos tipos de madeira com 20L de capacidade**. VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Uberlândia, Minas Gerais, 2009.

SINGLETON, V. L. **Maturation of wines and spirits: comparison, facts and hypotheses**. American Journal of Enology and Viticulture, v. 46, n. 1, p. 98-115, 1995.

SODRÉ, G. S. **Características físico-químicas e análises polínicas de amostras de méis de *Apis mellifera* L., 1758 (Hymenoptera: Apidae) da região do litoral norte do Estado da Bahia.** Dissertação – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba-SP. 83f. 2000.

SODRÉ, G. S. **Características físico-químicas e análises polínicas de amostras de méis de *Apis mellifera* L., 1758 (Hymenoptera: Apidae) da região do litoral norte do Estado da Bahia.** Arquivos Latinoamericano de produção animal, v.11, n. 3, p. 129-137, 2003.

SODRÉ, G. S. **Características físico-químicas, microbiológicas e pilíferas de amostras de méis dos estados do Ceará e Piauí.** Tese - Escola Superior de Agricultura Luis de Queiróz, Piracicaba. 2005.

SOUZA, C. C. de. **Caracterização físico-química, química e análise de sabor de méis poliflorais.** Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 135f. 2003.

SOUZA, J. E. A. **Agronegócio da apicultura: estudo da cadeia produtiva do mel em Maceió** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente: Desenvolvimento Sustentável) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Maceió, 181p, 2006.

SOUZA, B. A. **Caracterização físico-química e qualidade microbiológica de amostras de mel de abelhas sem ferrão (*Apidae, Meliponinae*) do Estado da Bahia, com ênfase em *Melípona Illiger*.** 1806, 2008. (Tese de Doutorado em Entomologia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.

VASCONCELOS, J. N. DE. **Fermentação alcoólica contínua com levedura imobilizada em colmos de Cana-de-Açúcar.** Tese, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 113p, 1998.

VASCONCELOS, J. N. de. **Manual de Aulas Práticas.** Laboratório de Derivados da Cana-de-açúcar, NPT/CTEC/UFAL, 35p, 2001.

VASCONCELOS, J. N. de. Fermentação Etanólica. In: SANTOS, F. BORÉM, A. CALDAS, C. (Coord.). **Cana-de-açúcar- Bioenergia, açúcar e álcool.** Editora UFV, Viçosa, Minas Gerais, p. 401- 437, 2010.

Referências

<http://adegaleuck.blog.terra.com.br>, acesso em 01/10/2010.

<http://fabricadecachaca.blogspot.com/2010/08/kit-caseiro.html>, acesso dia 17/11/10.

<http://www.aparioballoni.com.br>, acesso em 24/10/2010.

<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mel/SPMel/mel.htm>, acesso em 23/10/2010.

<http://www.iq.unesp.br/flotacao/MODULO2/principal2.htm>, acesso em 20/10/2010

<http://nanibio12.blogspot.com>, acesso em 22/10/2010.

<http://www.fortunecity.com/greenfield/eco/813/mod2aula5.html>, acesso em 26/10/2010.

<http://alfredojunior.wordpress.com/2010/05/21/curiosidade-cana-de-acucar/>, acesso em 22/02/2011.

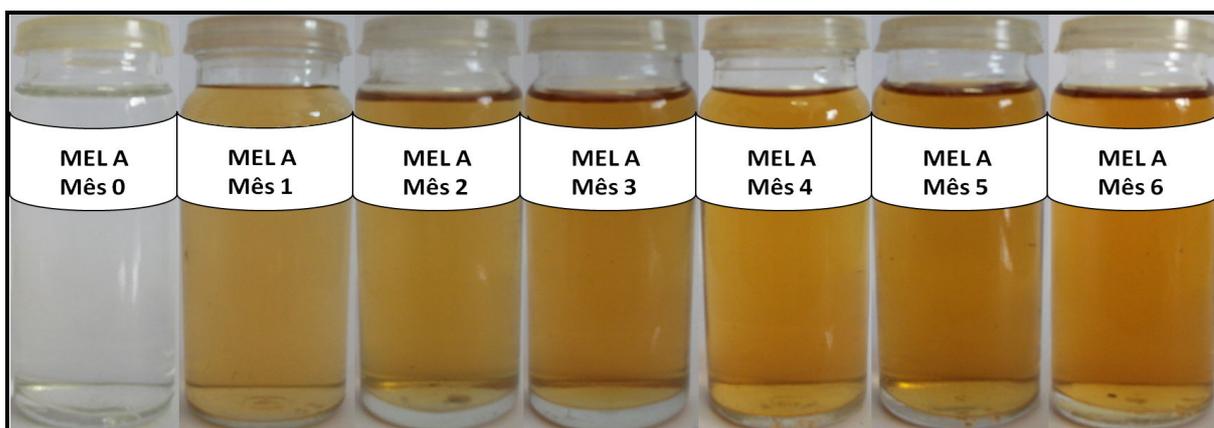
<http://fornodeensaio.blogspot.com/2010/10/fermento-para-pao-e-os-seus-metabolitos.html>, acesso em 22/02/11.

<http://www.e-esola.ptsitecanal.asp?canal=5.htm>, acesso em 06/03/11.

http://www.cachacawerneck.com.br/p_qualidade_producao, acesso em 11/05/2011.

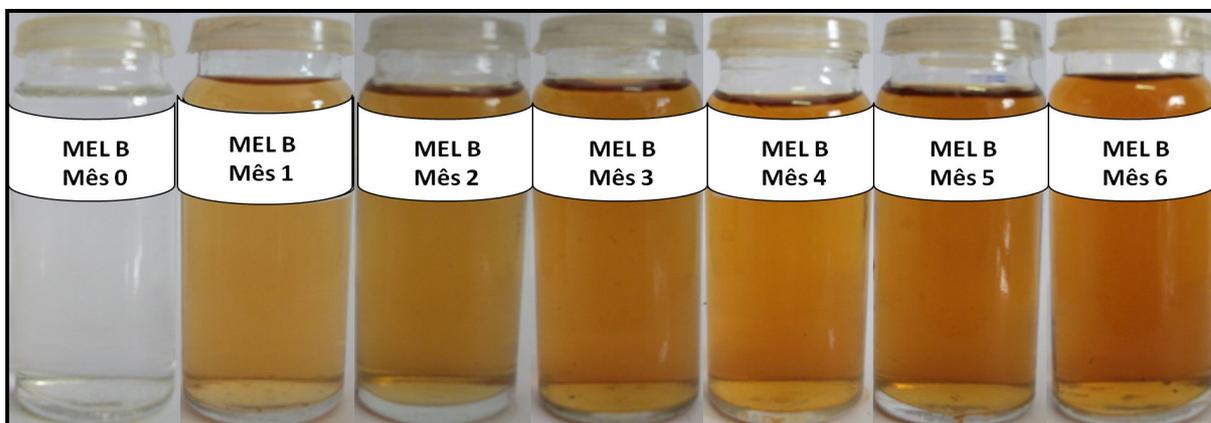
Apêndice 1 - Fotos das aguardentes em processo de envelhecimento (Figuras 52 a 60).

Figura 52 - Aguardente em processo de envelhecimento, obtida com o mel A, nos primeiros 6 meses de envelhecimento em barril de carvalho de 5 litros de capacidade.



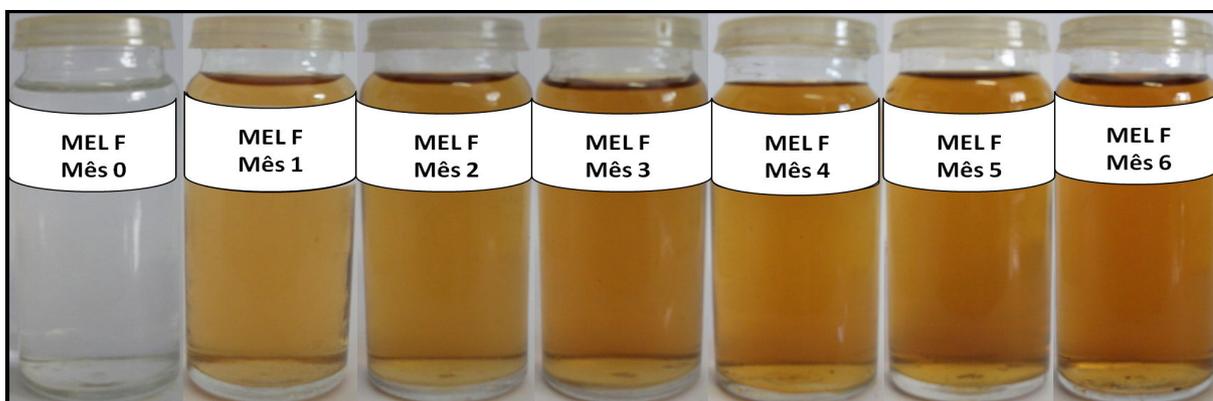
Fonte. (Autora, 2011)

Figura 53 - Aguardente em processo de envelhecimento, obtida com o mel B, nos primeiros 6 meses de envelhecimento em barril de carvalho de 5 litros de capacidade.



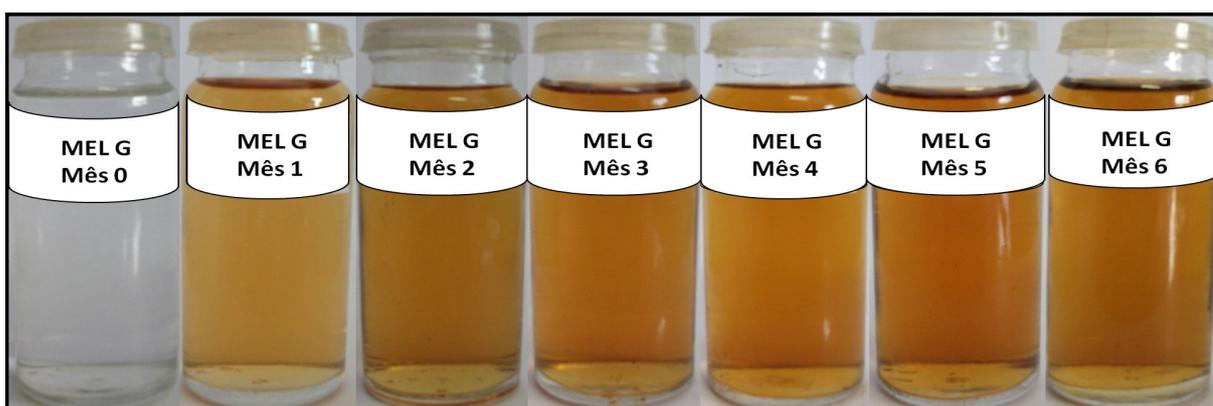
Fonte. (Autora, 2011)

Figura 54 - Aguardente em processo de envelhecimento, obtida com o mel F, nos primeiros 6 meses de envelhecimento em barril de carvalho de 5 litros de capacidade.



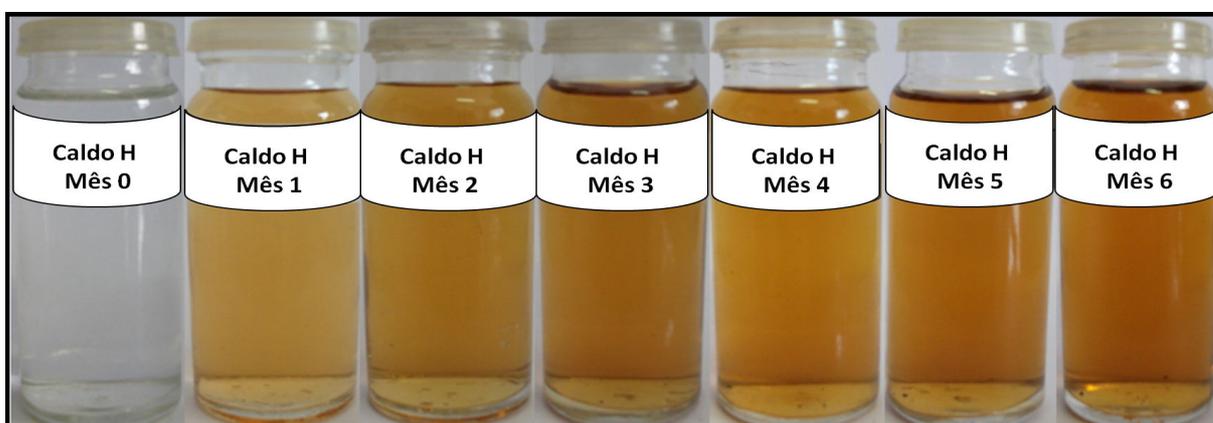
Fonte. (Autora, 2011)

Figura 55 - Aguardente em processo de envelhecimento, obtida com o mel G, nos primeiros 6 meses de envelhecimento em barril de carvalho de 5 litros de capacidade.



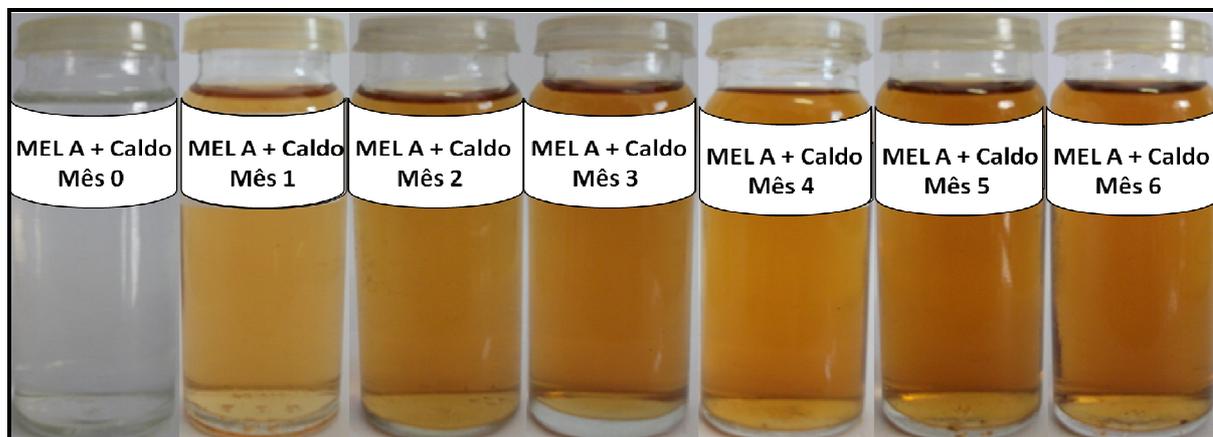
Fonte. (Autora, 2011)

Figura 56 - Aguardente em processo de envelhecimento, obtida com Caldo de Cana-de-Açúcar, nos primeiros 6 meses de envelhecimento em barril de carvalho de 5 litros de capacidade.



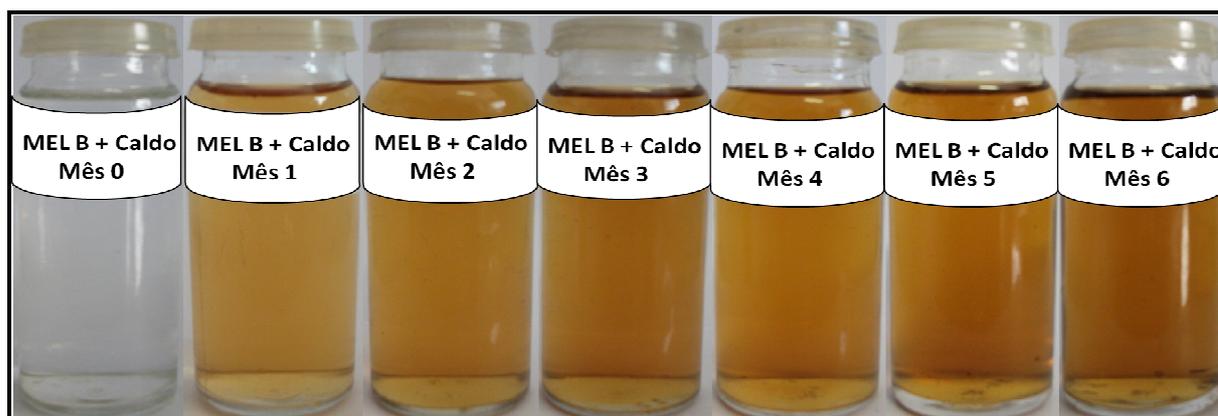
Fonte. (Autora, 2011)

Figura 57 - Aguardente em processo de envelhecimento, obtida com o mel A + Caldo, nos primeiros 6 meses de envelhecimento em barril de carvalho de 5 litros de capacidade.



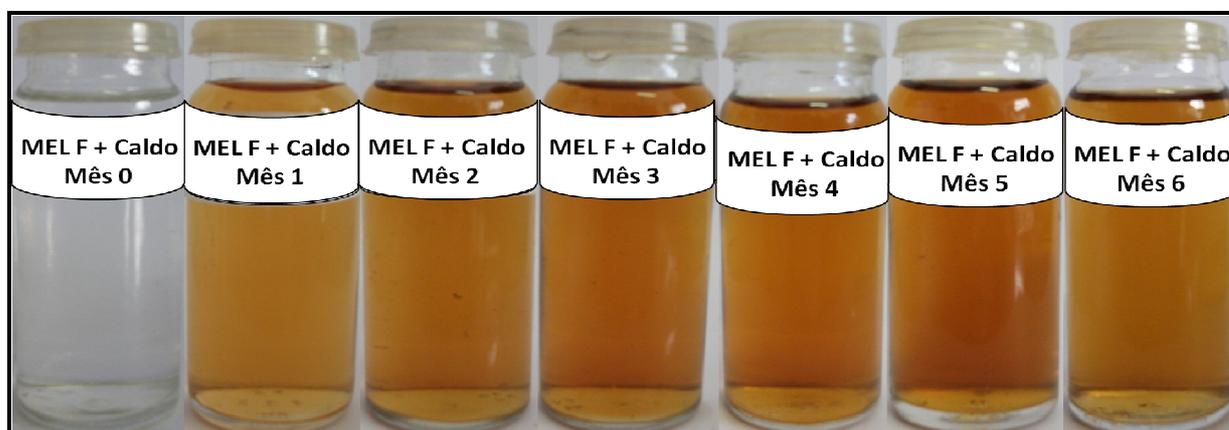
Fonte. (Autora, 2011)

Figura 58 - Aguardente em processo de envelhecimento, obtida com o mel B + Caldo, nos primeiros 6 meses de envelhecimento em barril de carvalho de 5 litros de capacidade.



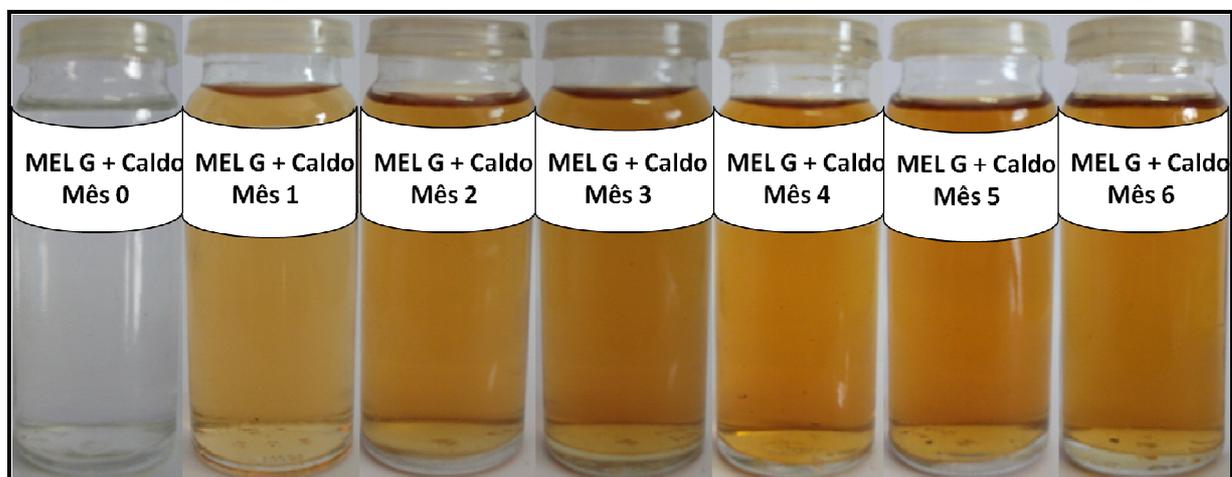
Fonte. (Autora, 2011)

Figura 59 - Aguardente em processo de envelhecimento, obtida com o mel F + Caldo, nos primeiros 6 meses de envelhecimento em barril de carvalho de 5 litros de capacidade.



Fonte. (Autora, 2011)

Figura 60 - Aguardente em processo de envelhecimento, obtida com o mel G + Caldo, nos primeiros 6 meses de envelhecimento em barril de carvalho de 5 litros de capacidade.



Fonte. (Autora, 2011)