



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PROCESSOS**



VITAL DE SOUSA QUEIRÓZ

**OBTENÇÃO DE ETANOL LÍQUIDO NEUTRO A PARTIR DOS RESÍDUOS
(CABEÇA E CAUDA) ORIUNDOS DA FABRICAÇÃO DE CACHAÇA POR
PROCESSO DE DESTILAÇÃO CONVENCIONAL E ASSISTIDO POR
MICRO-ONDAS PARA OBTENÇÃO DE ÁLCOOL GEL**

Tese de Doutorado apresentada à Universidade Federal de Campina Grande
para obtenção do Grau de Doutor.

**CAMPINA GRANDE - PARAÍBA
2013**

VITAL DE SOUSA QUEIRÓZ

**OBTENÇÃO DE ETANOL LÍQUIDO NEUTRO A PARTIR DOS RESÍDUOS
(CABEÇA E CAUDA) ORIUNDOS DA FABRICAÇÃO DE CACHAÇA POR
PROCESSO DE DESTILAÇÃO CONVENCIONAL E ASSISTIDO POR
MICRO-ONDAS PARA OBTENÇÃO DE ÁLCOOL GEL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Processos da Universidade
Federal de Campina Grande, como requisito para a
obtenção do título de Doutor.

Área de concentração: Desenvolvimento de Processos

ORIENTADOR: Prof. Dr. Severino Rodrigues de Farias Neto

Campina Grande
2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

Q3o

Queiróz, Vital de Sousa.

Obtenção de etanol líquido neutro a partir dos resíduos (cabeça e cauda) oriundos da fabricação de cachaça por processo de destilação convencional assistido por micro-ondas para obtenção de álcool gel / Vital de Sousa Queiróz. – Campina Grande, 2013.

103 f. : il. Color.

Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia.

"Orientação: Prof. Dr. Severino Rodrigues de Farias Neto".
Referências.

1. Aproveitamento. 2. Resíduo. 3. Destilação. 4. Etanol Gel. 5. Micro-Ondas. I. Farias Neto, Severino Rodrigues de. II. Título.

CDU 661.722(043)

**Obtenção de Etanol Líquido Neutro a Partir dos Resíduos
(Cabeça e Cauda) Oriundos da Fabricação de Cachaça por
Processo de Destilação Convencional e Assistido por Micro-
Ondas para Obtenção de Álcool Gel**


Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Processos

Tese de doutorado apresentado no dia 12/11/2013


Prof. Dr. Severino Rodrigues de Farias Neto

UAEQ/CCT/UFCG

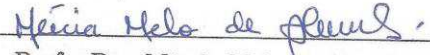
(Orientador)


Prof. Dr. Carlos Christiano Lima dos Santos

Faculdade Santa Emília de Rodate


(Examinador Externo)

**BANCA
EXAMINADORA**


Profa. Dra. Mércia Melo de Almeida

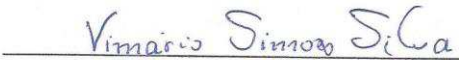
DEQ/CT/UFPB

(Examinadora Externa)


Prof. Dr. Laércio Gomes de Oliveira

UAEQ/CCT/UFCG

(Examinador Externo)


Prof. Dr. Vimário Simões Silva

UAEQ/CCT/UFCG

(Examinador Externo)

DEDICATÓRIA

Ao nosso Onipotente
Dedico este trabalho

AGRADECIMENTOS

Inicialmente a Deus por tudo que me foi concebido, desde o início da minha vida até no momento de hoje.

A minha mãe e a meu pai “*in memoriam*” pelo grande incentivo aos estudos e também pelos valores que me foi dado.

As minhas irmãs (Socorro e Leidinha) pelas grandes torcidas e impulsos que recebi durante toda a trajetória dos meus estudos.

Agradeço a Universidade Federal de Campina Grande por ter concedido os ensinamentos durante o curso do Doutorado em Engenharia de Processos.

Aos grandes químicos e servidores da UFPB, Ricardo Miguel de Oliveira e Diego de Araújo Batista que sempre se dispuseram a prestar ajuda aos trabalhos de análises químicas da presente pesquisa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Severino Rodrigues de Farias Neto pela forma gentil e valorosa dos seus conhecimentos em prol dessa pesquisa, aos professores Dr. Laercio Gomes de Oliveira, Dr. Vimário Simões Silva, Dr. Carlos Christiano de Lima Santos e Dra. Mércia de Melo de Almeida pelas correções e sugestões para melhor qualificar a tese.

A todos aqueles que estiveram contribuindo de forma direta e indireta em todos os processos desse trabalho, o meu muitíssimo agradecimento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de cachaça de alambique.....	07
Figura 2 - Unidade industrial de aguardente de cana-de-açúcar.....	10
Figura 3 - Sistema de destilação em engenho de cachaça modernizante.....	11
Figura 4 - Países importadores de cachaça de alambique.....	12
Figura 5 - Planta química de engenho Artesanal tradicional.....	14
Figura 6 - Fluxograma de fabricação de cachaça em engenho modernizante.....	15
Figura 7 - Planta moderna de fabricação de etanol em escala industrial.....	18
Figura 8 - Micro indústria de fabricação de etanol gel antisséptico tradicional.....	22
Figura 9 - Álcool gel antisséptico em embalagens diversas	23
Figura 10 - Espectro Eletromagnético com escalas correspondentes de frequência e comprimento de onda dos vários tipos de radiações.....	26
Figura 11 - Estrutura física de um magnetron	28
Figura 12 - Esquema de um magnetron	28
Figura 13 - Planta de extração de essências de frutos assistido por micro-ondas.....	33
Figura 14 - Ilustração do mecanismo de aquecimento da água por acoplamento e desacoplamento de micro-ondas.....	35
Figura 15 - Laboratório Piloto de Química Industrial (LAPQ).....	40
Figura 16 - Fluxograma de obtenção de etanol gel antisséptico a partir dos resíduos (cabeça e cauda).....	43
Figura 17 - Alcoômetro Gal Lussac.....	44
Figura 18 - Ebuliometro Dujardin Salleron 3300.....	44
Figura 19 - Cromatógrafo a gás com ionização de chama.....	44
Figura 20 - Esquema de preparação das misturas (cabeça e cauda).....	48
Figura 21 - Microdestilador de etanol convencional.....	51
Figura 22 - Microdestilador assistido por micro-ondas.....	55
Figura 23 - Forno micro-ondas (a) e cavidade do forno (b).....	57
Figura 24 - Estrutura em aço do microdestilador de etanol assistido por micro-ondas...	57
Figura 25 - Imagens da cavidade de propagação de micro-ondas (a) e disposição dos beckeres na cavidade (b).....	58

Figura 26 - Microdestilador de etanol a micro-ondas (unidade de geração de radiação, cavidade de propagação e sistema de destilação).....	59
Figura 27 - Esquema do microdestilador de etanol assistido por micro-ondas.....	60
Figura 28 - Planta do processo de obtenção de Etanol Gel Antisséptico usando etanol a 85°GL e a 80°GL extraído dos resíduos (cabeça e cauda).....	63
Figura 29 - Fluxograma dos quantitativos de cachaça e de resíduos (cabeça e cauda) produzidos a partir de 800 kg de cana-de-açúcar.....	65
Figura 30 - Microdestilador de etanol convencional e analisador de energia.....	67
Figura 31 - Microdestilador assistido por micro-ondas e analisador de energia.....	67
Figura 32 - Cinética da destilação ($^{\circ}\text{GLm} \times ^{\circ}\text{GLd}$) das misturas usando microdestilador de etanol convencional e microdestilador de etanol assistido por micro-ondas.....	73
Figura 33 - Cinética da destilação ($T_d \times ^{\circ}\text{GLm}$) das misturas usando microdestilador de etanol convencional e microdestilador de etanol assistido por micro-onda.....	74
Figura 34 - Cinética da destilação ($R_d \times ^{\circ}\text{GLm}$) das misturas usando microdestilador de etanol convencional e microdestilador de etanol assistido por micro-ondas.....	75
Figura 35 - Cinética da destilação (tempo de destilação x amostra de 550 ml) das misturas usando microdestilador de etanol convencional e microdestilador assistido por micro-ondas.....	78
Figura 36 - Tempo total de destilação das misturas x números de ensaios no microdestilador de etanol convencional	79
Figura 37 - Tempo total de destilação das misturas x número de amostras no microdestilador de etanol assistido por micro-ondas.	80
Figura 38 - Comparação dos custos unitários/kg de etanol gel antisséptico.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Itens e tolerâncias para composição química da cachaça de alambique.....	16
Tabela 2 - Especificações Técnicas do Etanol Neutro.....	20
Tabela 3 - Matérias-primas para obtenção de etanol gel antissépticos a partir dos resíduos (cabeça e cauda).....	41
Tabela 4 - Formulações de etanol gel antisséptico usando etanol líquido a 85°GL e 80°GL extraído dos resíduos (cabeça e cauda).....	42
Tabela 5 - Teores alcoólicos dos resíduos e de suas misturas em proporção (1:1).....	47
Tabela 6 - Dados de entrada para o desenvolvimento do processo de destilação das misturas (Mr ₁ , Mr ₂ , Mr ₃ , Mr ₄ e Mr ₅) usando microdestilador de etanol convencional ...	54
Tabela 7 - Dados de entrada para o desenvolvimento do processo de destilação das misturas (Mr ₁ , Mr ₂ , Mr ₃ , Mr ₄ e Mr ₅) usando microdestilador de etanol a micro-ondas...	62
Tabela 8 - Planilha de custo de material de consumo para produzir 100 kg de etanol gel antisséptico para as três alternativas tecnológicas.....	65
Tabela 9 - Caracterização físico-química e física dos resíduos (cabeça e cauda).....	69
Tabela 10 - Resultados da caracterização experimental (CE) dos resíduos (cabeça e cauda) e da caracterização dos resíduos publicados em literatura especializada (CLE)..	70
Tabela 11 - Teores alcoólicos dos resíduos e de suas misturas em proporção (1:1).....	71
Tabela 12 - Mapeamento da distribuição da radiação micro-ondas dentro da cavidade do microdestilador assistido a micro-ondas.....	72
Tabela 13 - Rendimento dos processos de destilação das misturas (Mr ₁ , Mr ₂ , Mr ₃ , Mr ₄ e Mr ₅) usando microdestilador convencional.....	76
Tabela 14 - Rendimento dos processos de destilação das misturas (Mr ₁ , Mr ₂ , Mr ₃ , Mr ₄ e Mr ₅) usando microdestilador assistido por micro-ondas.....	76
Tabela 15 - Características do etanol obtido dos resíduos e do etanol tradicional.....	82
Tabela 16 - Características do etanol gel obtido dos resíduos (cabeça e cauda) e do etanol gel tradicional.....	83
Tabela 17 - Custo com material de consumo para produzir 100 kg de etanol gel antisséptico tradicional (EGA) a 70°INPM.....	84

Tabela 18 - Custo com material de consumo para produzir 100 kg de etanol gel antisséptico (EGA) a 70°INPM usando etanol a 85°GL extraído dos resíduos (cabeça e cauda) no microdestilador de etanol convencional.....	85
Tabela 19 - Custo com material de consumo para produzir 100 kg de etanol gel antisséptico (EGA) a 70°INPM usando etanol a 80°GL extraído dos resíduos (cabeça e cauda) no microdestilador de etanol assistido por micro-ondas.....	86
Tabela 20 - Consumo de energia em kwh no microdestilador de etanol convencional...	89
Tabela 21 - Consumo de energia em kwh no microdestilador de etanol assistido por micro-ondas.....	89

LISTA DE ABREVIATURAS

Cb - Cabeça (resíduo líquido, 1^a fração do destilado da cachaça)

Cd - Cauda (resíduo líquido, 3^a fração do destilado da cachaça)

Co - Coração (2^a fração do destilado da cachaça, cachaça de qualidade)

% m/m - porcentagem de massa por massa

MO's - Micro-ondas

Mr1 - Mistura de resíduos a 40°GL

Mr2 - Mistura de resíduos a 42,5°GL

Mr3 - Mistura de resíduos a 45°GL

Mr4 - Mistura de resíduos a 47,5°GL

Mr5 - Mistura de resíduos a 50°GL

%v/v - porcentagem de volume por volume

Vcb - volume de cabeça

Vcd - Volume de cauda

Ve - Volume de etanol destilado

Vm - Volume da mistura a destilar

Vi - Volume de impurezas

Va - volume de amostra

Rd - Rendimento da destilação

Vr - Volume de resíduo

Ip - Porcentagem de impurezas voláteis

LISTA DE SÍMBOLOS

x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 e x_6 - Quantidade de componente de formulação

y_1, y_2, y_3, y_4, y_5 e y_6 - Preço unitários por componente

°GL - Grau alcoólico da mistura em volume

Cp - centepoise (unidade de viscosidade)

NOMENCLATURA

POP - Procedimento Operacional Padrão.....	[-]
EHN - Etanol Hidratado Neutro.....	[-]
EGA - Etanol Gel Antisséptico.....	[-]
°GLm - Grau alcoólico da mistura.....	[%v/v]
°GLcb - Grau alcoólico da cabeça.....	[%v/v]
°GLcd - Grau alcoólico da cauda.....	[%v/v]
°GL - Grau alcoólico volume por volume.....	[%v/v]
INPM - Instituto Nacional de Pesos e Medida.....	[%g/g]
μ - Viscosidade absoluta.....	[cP]
d - massa específica.....	[g/mL]
pH - Potencial hidrogeniônico.....	[-]
Pv - Pressão de vapor.....	[kgf/cm ²]
v - volume.....	[L]

LISTA DE QUADRO

Quadro I - Alternativas Tecnológicas para Produzir Etanol Gel Antisséptico

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iii
LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE ABREVIATURAS.....	vii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	viii
NOMENCLATURA.....	ix
LISTA DE QUADRO.....	x
CAPÍTULO 1	
INTRODUÇÃO.....	01
CAPÍTULO 2	
OBJETIVOS.....	04
- Objetivo geral.....	04
- Objetivos específicos.....	04
CAPÍTULO 3	
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
3.1. Aspectos gerais de indústria de cachaça e de aguardente de cana-de-açúcar.....	06
3.2. Produção de cachaça de alambique e de aguardente de cana-de-açúcar.....	09
3.3. Perspectiva do segmento produtor de cachaça de alambique.....	12
3.4. Processo de fabricação de cachaça de alambique.....	13
3.5. Padrão de identidade e qualidade de cachaça de alambique.....	15
3.6. Produção industrial de etanol líquido.....	16
3.7. Produção de etanol gel antisséptico.....	20
3.8. Principais aplicações do etanol gel antisséptico.....	23
3.9. Legislação do etanol gel antisséptico.....	23
3.10. Mercado do etanol gel antisséptico.....	24
3.11. Perspectivas do segmento produtor de etanol gel antisséptico.....	24
3.12. A Tecnologia de micro-ondas.....	25
3.13. Micro-ondas no laboratório de química.....	30

3.14. Aquecimentos dos materiais por micro-ondas.....	34
3.15. Efeitos das micro-ondas em processos físico-químicos.....	36
3.16. Destilação de etanol por micro-ondas.....	37
3.17. Aplicação industrial de micro-ondas.....	38

CAPÍTULO 4

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Local de realização dos ensaios experimentais.....	39
4.2. Matérias - primas.....	40
4.3. Fluxograma do processo de obtenção do etanol gel dos resíduos.....	41
4.4. Caracterização físico-química e física dos resíduos (cabeça e cauda).....	44
4.4.1. Caracterização físico-química dos resíduos.....	45
4.4.1.1. Teor alcoólico (°GL).....	45
4.4.1.2. Ésteres expressos em acetatos de etila.....	45
4.4.1.3. Aldeído acético.....	45
4.4.1.4. Álcoois superiores.....	45
4.4.1.5. Metanol.....	45
4.4.1.6. Acidez acética.....	45
4.4.1.7. pH (potencial hidrogeniônico).....	45
4.5. Caracterização física dos resíduos (cabeça e cauda).....	45
4.5.1. Densidade.....	46
4.5.2. Aspectos.....	46
4.5.3. Aroma.....	46
4.6. Definição dos parâmetros de preparação das misturas (cabeça e cauda) a destilar no microdestilador de etanol convencional e assistido por micro-ondas.....	46
4.6.1. Preparação das misturas.....	49
4.6.2. Verificação prática dos teores alcoólicos das misturas.....	49
4.7. Destilação das misturas (cabeça e cauda) no microdestilador de etanol convencional e assistido por micro-ondas para obter etanol neutro.....	49
4.7.1. Destilação das misturas no microdestilador de etanol convencional.....	50
4.7.1.1. Controle operacional do processo de destilação convencional.....	52
4.7.1.2. Determinação dos dados de entrada para o processo de destilação das misturas (cabeça e cauda) usando microdestilador de etanol convencional.....	53

4.7.2. Desenvolvimento do microdestilador de etanol assistido por micro-ondas para extração de álcool etílico dos resíduos (cabeça e cauda).....	54
4.7.2.1. Controle operacional do processo de destilação assistido por micro-ondas.....	60
4.7.2.2. Determinação dos dados de entrada para o processo de destilação das misturas (cabeça e cauda) usando microdestilador de etanol assistido por micro-ondas.....	61
4.7.3. Processo de obtenção de etanol gel antisséptico usando etanol neutro extraído dos resíduos com microdestilador convencional e assistido por micro-ondas.....	62
4.8. Custo/benefício de obtenção de etanol antisséptico a partir dos resíduos (cabeça e cauda) em relação ao etanol gel tradicional e metodologia para determinação do consumo de energia elétrica nos dois destiladores.....	63

CAPÍTULO 5

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização físico-química e física dos resíduos (cabeça e cauda).....	68
5.2. Preparação das misturas dos resíduos (cabeça e cauda) a destilar para obtenção de etanol líquido neutro.....	71
5.3. Mapeamento da propagação de radiação micro-ondas no microdestilador de etanol assistido a micro-ondas.....	72
5.4. Cinética dos processos destilatórios das misturas (cabeça e cauda) usando microdestilador de etanol convencional e assistido por micro-ondas.....	73
5.5. Caracterização físico-química do etanol líquido e gel obtido dos resíduos por destilação convencional e destilação assistido por micro-ondas.....	81
5.6. Custo/benefício de obtenção de etanol gel antisséptico obtido a partir dos resíduos (cabeça e cauda) em relação ao etanol gel tradicional.....	83
5.6.1. Mensuração e comparação do consumo de energia dos processos de destilação	89

6. CONCLUSÕES.....

7. CONTRIBUIÇÕES.....

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....

94

APÊNDICE..... 99

ANEXO..... 103

RESUMO

Com o advento da globalização tecnológica, o ideal para as empresas industriais é processar matéria(s)-prima(s) com o seu aproveitamento integral para agregar mais lucratividade a cadeia produtiva e ser mais competitiva no mercado. O presente trabalho teve como objetivo, desenvolver o processo de aproveitamento dos resíduos (cabeça e cauda) oriundos da fabricação de cachaça de alambique para obtenção de etanol líquido neutro por processo de destilação convencional e por um inovador processo de destilação assistido por micro-ondas, para obtenção de álcool gel a 70°INPM. Neste trabalho, foi estudada a cinética dos processos destilatórios das misturas dos resíduos, com concentração de 40°GL, 42,5°GL, 45°GL, 47,5°GL e 50°GL nos dois sistemas de destilação, variando a temperatura de aquecimento em 90°C, 92°C, 94°C, 96°C, 99°C e 100°C onde foram definidos parâmetros como temperatura ideal de aquecimento dos sistemas, taxa de aquecimento, graduação alcoólica do etanol líquido destilado e rendimento do processo, assim como, o ajuste da formulação tradicional de obtenção de etanol gel usando etanol extraído dos resíduos. No processo destilatório, usando radiação micro-onda como agente de aquecimento, foi utilizado um microdestilador a micro-ondas desenvolvido para esse fim, mantendo-se os mesmos parâmetros da metodologia definida para a destilação convencional. Os resíduos, o álcool líquido extraído e o etanol gel antisséptico produzido foram caracterizados por métodos físicos e físico-químicos como densimetria, ebulliometria, cromatografia gasosa e viscosimetria. Os resultados obtidos mostraram que, o etanol extraído dos resíduos atende as especificações técnicas estabelecidas pela ANVISA (Agencia Nacional de Vigilância Sanitária) para produção de etanol gel antisséptico a 70°INPM e a faixa de temperatura ideal de trabalho em ambos destiladores é de 99°C - 100°C. O etanol gel antisséptico, obtido dos resíduos, apresentou características físicas e físico-químicas semelhante ao etanol gel tradicional e quanto ao seu custo/benefício, mostrou expressiva vantagem econômica do ponto de vista de custo com consumo de material e de preço do produto no mercado em comparação ao álcool gel tradicional.

Palavras-chaves: Aproveitamento, resíduo, destilação, etanol gel, micro-ondas

ABSTRACT

With the advent of technological globalization, ideal for industrial companies is to process assessment (s) material (s) with your full time to educating the supply chain profitability and be more competitive in the market recovery. This study aimed to develop the process for recovery of waste (head and tail) deriving from the manufacture of cachaça to obtain neutral liquid ethanol by conventional distillation process and an innovative distillation process assisted by microwave, to obtain alcohol gel at 70 ° INPM. In this work , we studied the kinetics of processes destilatórios mixtures of wastes with concentration of 40°GL, 42.5°GL, 45GL°, 47.5° and 50°GL in both distillation systems, varying the temperature heating at 90°C, 92°C, 94°C, 96°C, 99°C and 100°C which defined parameters, such as temperature optimum heating systems, heating rate, ethanol alcoholic distillate yield and process, as well as adjusting the traditional formulation of obtaining ethanol from ethanol gel using waste. In the process distillatory using radiation microwaves as the heating agent, was used a microwave microdestilador developed for this purpose, keeping the same parameters as defined methodology to conventional distillation. Waste, liquid alcohol antiseptic gel extracted and ethanol produced were characterized by physical and physico-chemical as densitometry, ebulliometria, gas chromatography and viscometry. The results showed that the ethanol extract of the waste meets the technical specifications established by ANVISA (National Health Surveillance Agency) for ethanol antiseptic gel to 70°INPM ideal temperature range and work in both stills is 99°C - 100°C. Ethanol antiseptic gel , obtained from waste, presented physical and physical-chemical properties similar to ethanol gel and traditional terms of their cost / benefit ratio, showed significant economic advantage from the standpoint of cost material consumption and price of the product on the market compared to the traditional alcohol gel.

Key words: Utilization, residue, distillation, ethanol gel, microwave

INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

Atualmente no mundo empresarial, principalmente no segmento agroindustrial, o aproveitamento de resíduos representa uma forte demanda por processamentos industriais e os descartes desses materiais na natureza, geralmente, representam um problema de restrição industrial legal. O tratamento e o descarte de resíduos, para muitas empresas, significam custo adicional e, muitas vezes, aproveitá-los como matéria-prima para outro processo é a alternativa viável. Beneficiar ou transformar resíduos com valor agregado permite às empresas gerar lucros e melhorar a sua competitividade, além disso, é de fundamental importância para o desenvolvimento sustentável e proteção ambiental.

A indústria de cachaça de alambique do Brasil, desde os seus primórdios, porta-se dentro do segmento agroindustrial de derivados da cana-de-açúcar em nível de micro e pequenas unidades fabris (RIBEIRO, 2000). Completando o segmento de bebidas alcoólicas destiladas derivadas da cana-de-açúcar, têm-se médias e grandes destilarias de aguardente e, com o advento da globalização dos mercados, há uma preocupação incessante, por parte dos empresários, em desenvolver o processo produtivo atendendo aos padrões técnicos de qualidade, as normas técnicas estabelecidas em legislação e sem agredir o meio ambiente.

Durante o processo de produção de cachaça de alambique, são gerados os seguintes resíduos: Ponteira da cana-de-açúcar, bagaço de cana, vinhoto, cabeça e cauda. A ponteira é usada na formulação de silagem para ração animal, o bagaço é utilizado como combustível nas fornalhas dos sistemas de destilação, em formulações de compostagem para adubação e atualmente como matéria-prima para obtenção de etanol de segunda geração; o vinhoto, resíduo com baixo teor alcoólico, usado em poucos engenhos em compostagem e na fertirrigação (fertilização e irrigação) na lavoura de cana-de-açúcar, é destinado à tanques (lagoas), que por falta de controle, causa desequilíbrio ao meio ambiente; a cabeça e a cauda, resíduos líquidos com significativos percentuais de etanol em sua composição e obtidos no processo de destilação da cachaça como primeira e terceira fração do destilado, por falta de uma tecnologia apropriada para o seu integral aproveitamento, quando incorporado ao processo produtivo da cachaça, compromete a sua qualidade sensorial no que diz respeito a aroma e paladar (RIBEIRO, 2000).

A fração cabeça com concentração alcoólica variando entre 60% - 70% em volume (°GL), rica em substâncias químicas (ésteres, aldeído acético, butanol, propanol, metanol e outros), pode ser destilada para obtenção e comercialização de etanol combustível, desde que o álcool extraído atenda as especificações técnicas, mas, quando não extraída no processo de fabricação da cachaça, confere a bebida características sensoriais indesejáveis, provocando mal estar e náuseas ao consumidor. A cauda também chamada de caxixi ou água fraca, com concentração alcoólica variando entre 20% - 30% em volume (°GL) apresenta alta concentração de componentes químicos (ácidos orgânicos, furfural, isopropanol, álcool isoamílico e outros) com pontos de ebulição superior ao do etanol, e quando aproveitada no processo produtivo, gera indesejável aroma e sabor a bebida. O descarte da cauda em muitos engenhos é feito junto com o vinhoto causando impacto ao meio ambiente (NOVAIS, 1995).

O aproveitamento dos resíduos (cabeça e cauda) para obtenção de etanol gel antisséptico a 70°INPM (% massa/massa) com orientação de extrapolação de escala de nível micro para industrial, usando a destilação convencional, apresenta-se como uma inovação tecnológica que garantirá uma significativa agregação de valor econômico e social ao segmento industrial produtor de cachaça, oportunidade de uma melhor padronização sensorial da bebida e uma produção mais limpa.

O etanol líquido neutro com graduação alcoólica acima de 76°GL (% v/v) produzido nas destilarias de álcool a partir da cana-de-açúcar e considerado matéria-prima básica à produção de álcool gel antisséptico tradicional, além de requerer alta tecnologia para sua produção, tem sido o grande vilão dos muitos acidentes domésticos (queimaduras), principalmente os que envolvem crianças e, quando usado na fabricação de etanol gel antisséptico é um dos componentes da formulação que contribui para o alto preço do produto, por isto, tornando-o inacessível o álcool gel antisséptico à população brasileira, principalmente aos mais pobres (ANVISA, 2010).

O etanol gel é um produto recentemente desenvolvido e de grande demanda social, principalmente na área da saúde e sua aplicação é para inibir e/ou exterminar bactérias, vírus e fungos que causam doenças infectocontagiosas. O uso de etanol líquido neutro produzido em destilaria de álcool na produção de etanol gel, o torna inacessível ao consumidor de baixa renda e seguramente o etanol neutro obtido dos resíduos proporcionará preço mais baixo ao etanol gel.

Diante dos ensaios desenvolvidos e dos resultados obtidos no Laboratório Piloto de Química Industrial (LAPQ) do Centro de Tecnologia da UFPB, a presente pesquisa propõe dois processos alternativo para aproveitamento dos resíduos (cabeça e cauda) oriundos da fabricação de cachaça de alambique para obtenção de álcool gel antisséptico, através das seguintes etapas: processo de extração de etanol líquido dos resíduos para produção de etanol gel antisséptico utilizando microdestilador de etanol tradicional, desenvolvimento de um novo equipamento de destilação de etanol assistido por micro-ondas, novas formulações de preparação de etanol gel antisséptico usando etanol líquido neutro extraído respectivamente por destilação convencional e assistido por micro-onda, bem como, o procedimento para a extrapolação de escala nível laboratorial de obtenção de etanol líquido neutro por destilação convencional a partir dos resíduos para escala industrial (engenho).

No presente trabalho, foi analisado o custo/benefício de obtenção de etanol gel antisséptico obtido de álcool etílico extraído (destilado) dos resíduos (cabeça e cauda), em relação ao etanol gel antisséptico tradicional produzido com álcool fabricado em destilaria do segmento industrial sucroalcooleiro, bem como, a economia de energia dos processos de extração de etanol dos resíduos por destilação convencional e destilação assistida por micro-ondas.

OBJETIVOS

- OBJETIVO GERAL

Desenvolver os processos de obtenção de etanol líquido neutro a partir dos resíduos (cabeça e cauda) gerados na fabricação de cachaça por destilação convencional e destilação assistida por micro-ondas e a obtenção de etanol gel antisséptico usando o etanol neutro extraído dos resíduos.

- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar os resíduos (cabeça e cauda) oriundos da fabricação de cachaça quanto aos seus teores alcoólicos e demais substâncias voláteis;
- Definir os parâmetros de preparação das misturas (cabeça e cauda) para extração de etanol líquido por destilação convencional e assistido por micro-ondas;
- Desenvolver e experimentar um sistema de destilação assistido por micro-ondas para extrair o etanol líquido contido nas misturas dos resíduos (cabeça e cauda) com característica neutra;
- Definir as variáveis físicas dos processos destilatórios (destilação convencional e destilação assistida por micro-ondas) através das cinéticas de destilação das misturas (cabeça e cauda) com concentrações de 40°GL, 42,5°GL, 45°GL, 47,5°GL e 50°GL experimentando varias temperaturas de aquecimentos;
- Caracterizar o etanol líquido extraído das misturas obtido por destilação convencional e assistida por micro-ondas e comparar as suas especificações técnicas com o etanol líquido neutro tradicional;
- Desenvolver os procedimentos operacionais dos processos de destilação das misturas (cabeça e cauda) nos dois destiladores (convencional e assistido por micro-ondas) utilizando os dados obtidos das cinéticas de destilação;

- Desenvolver as formulações químicas de obtenção do etanol gel antisséptico, usando etanol neutro extraído dos resíduos (cabeça e cauda) por destilação convencional e destilação assistida por micro-ondas respectivamente, e produzir o etanol gel dentro das especificações previstas pela legislação da ANVISA;
- Caracterizar o etanol gel antisséptico produzido quanto aos parâmetros físico, químico e físico-químico;
- Mensurar e comparar o custo/benefício do etanol gel antisséptico obtido com o etanol líquido extraído dos resíduos, com o etanol gel tradicional comercializado no mercado e obtido com etanol neutro produzido em destilaria, bem como, o consumo de energia elétrica dos dois processos de destilação (destilação convencional e destilação assistida por micro-ondas).

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - Aspectos gerais da indústria de cachaça e de aguardente de cana-de-açúcar

Estabelecido no Decreto Federal nº 4.851 de 2003 - artigos 92, cachaça é a bebida típica e exclusiva do Brasil obtida da fermentação alcoólica do mosto de caldo de cana-de-açúcar, geralmente destilada em alambique de cobre, com graduação alcoólica determinada a 20°C de 38°GL - 48°GL (% em volume), com características sensoriais peculiares, podendo ser adicionada de açúcares até 06 gramas por litro, expressos em sacarose. Segundo Alves (2004), aguardente de cana-de-açúcar é a bebida obtida por idêntico processo fermentativo ao da cachaça e destilada geralmente em colunas de destilação em aço inox, com graduação alcoólica determinada a 20°C variando de 38°GL - 54°GL, podendo também, ser obtida em nível artesanal ou industrial pelo processo denominado de standardização (mistura de destilados alcoólicos oriundos da cana-de-açúcar) e permitido por legislação conter até 30 gramas de sacarose por litro de aguardente.

Cachaça de alambique e aguardente de cana-de-açúcar são bebidas destiladas de grande demanda nacional especialmente nas classes sociais C e D e atualmente com crescente consumo nas classes A e B. Consideradas as legítimas bebidas do Brasil, a cachaça e a aguardente são os produtos que melhor ilustram todas as ações, tensões e contradições por traz das transformações que permeiam a história do sistema agroindustrial brasileiro. A produção e o consumo estão profundamente interligados a aspectos econômicos, sociais e políticos para construção do Brasil como república (ABRABE, 1997).

Segundo dados da Associação Brasileira de Produtores de Bebidas (ABRABE, 2009), o país tem mais de cinco mil marcas de cachaça e cerca de trinta mil produtores. A cachaça de alambique e a aguardente de cana são as bebidas destiladas mais consumidas no Brasil e juntas, detém o terceiro lugar no ranking mundial de bebidas destiladas ficando atrás apenas da vodka e do soju (bebida oriental) destilada obtida a partir do mosto fermentado do arroz. O segmento industrial de produção de cachaça de alambique vem passando nos últimos anos, por mudanças tecnológicas e organizacionais que estão cada vez mais agregando valor a bebida.

Na Figura 1 podem ser observados exemplos dos diferentes tipos de cachaça de alambique, em diversas embalagens, produzidas exclusivamente no Brasil.



Figura 1 - Tipos de cachaça de alambique

FONTE: http://www.centrosjc.com.br/noticias/wpcontent/uploads/2013/04/prateleira_cachaca_620x465-620x404.jpg

Tipos de cachaças:

Vários tipos de cachaças são produzidos no Brasil, destacando-se:

- **Cachaça branca recém-destilada** - cachaça envasada após destilação;
- **Cachaça branca descansada**- cachaça estocada até 11 meses e 29 dias em barris de madeira que não confere cor;
- **Cachaça branca adocicada** - cachaça obtida a partir da cachaça recém destilada ou descansada contendo até 30 gramas de sacarose / litro;
- **Cachaça envelhecida tradicional** - cachaça com no mínimo um ano estocada em barris de madeira que confere cor, aroma e sabor;
- **Cachaça envelhecida Premium** - cachaça que foi estocada (envelhecida) de um ano até três anos em barris de madeira que confere cor, aroma e sabor;

- **Cachaça envelhecida Extra Premium** - cachaça com tempo de estocagem > 3 anos em barris de madeira que confere cor, aroma e sabor.

FONTE: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) - Instrução Normativa nº 13 (2005).

Segundo Maia (2011), o consumo per capita de 2009 foi de 12 litros de cachaça por brasileiro acima de 18 anos e a produção total de cachaça e aguardente passou de 418 milhões de litros para 1,3 bilhões entre 1970 e 1999, e em 2009, a produção atingiu aproximadamente 1,5 bilhões de litros. Estima-se que todos os estados do país produzem principalmente cachaça de alambique em nível artesanal, ficando a produção de aguardente de cana em destaque aos Estados de São Paulo, Pernambuco e Bahia.

Em 2011 o Estado de São Paulo produziu 45% de toda aguardente do Brasil, com destaque em volume de produção para aguardente estandardizada. A Bahia é o segundo maior produtor de cachaça de alambique seguido de Pernambuco e Ceará. A cadeia produtiva de cachaça de alambique se caracteriza no cenário nacional de produção de bebidas destiladas pela predominância do segmento artesanal e artesanal modernizante, sendo o Estado de Minas Gerais um dos maiores produtores de cachaça branca descansada e envelhecida, chegando a 8% da produção nacional. No Nordeste brasileiro predomina a fabricação de cachaça branca recém-destilada e cachaça descansada em pipas de freijó e umburana.

Segundo os dirigentes da ASPECA (Associação Paraibana dos Engenhos de Cana-de-Açúcar), 2012, a Paraíba, Estado reconhecido nacionalmente por produzir cachaça branca de qualidade, apresenta-se no cenário nacional com apenas 5% da produção de cachaça de alambique, detém o maior fabrica de produção de cachaça de alambique do Brasil (Engenho São Paulo) localizado no município de Cruz do Espírito Santo, com produção diária média de 25.000 litros por dia e duas empresas estandardizadoras de aguardente de cana-de-açúcar (unidades industriais produtoras de aguardente que utiliza como matéria-prima destilados alcoólicos adquiridos de vários engenhos) no interior do Estado.

3.2 - Produção de cachaça de alambique e de aguardente de cana-de-açúcar

O segmento agroindustrial produtor de cachaça de alambique e de aguardente de cana-de-açúcar no Brasil, encontra-se dividido em três subsegmentos com características bem distintas e conflitantes. O subsegmento Industrial de grande porte, compostos pelas maiores empresas de fabricação de aguardente de cana-de-açúcar (destilarias de aguardente) e empresas standardizadoras, e cuja principal característica é a produção padronizada em larga escala, onde predominam plantas químicas com colunas de destilação em aço inox; o subsegmento Artesanal Tradicional, compreendendo os micros e grande parte dos pequenos engenhos de cachaça de alambique independentes e cujas características são as diversidades de processos produtivos e de marcas, e com uma profunda identificação com as regiões onde são localizados; e o subsegmento Artesanal Modernizante formado por pequenos, médios e grandes produtores de cachaça de alambique, mas que estão institucionalmente ligados a pessoas jurídicas (associações e cooperativas) criadas nas próprias regiões produtoras para representar os interesses dos produtores associados (COUTINHO, 2001).

Características dos segmentos produtores de cachaça de alambique e aguardente de cana-de-açúcar (COUTINHO, 2001):

Subsegmento industrial (fabricantes de aguardente em larga escala):

- Cana-de-açúcar geralmente queimada e colheita mecanizada da lavoura de cana;
- Adquirem aguardente de cana e cana-de-açúcar de terceiros para o processo;
- Utilizam colunas de aço inox para destilar a aguardente;
- Alta produção, controle de qualidade refinado e mão-de-obra especializada;
- Fermentação com levedura selecionada e uso de produtos químicos;
- Marketing em nível de mercado interno e externo e preço baixo da bebida;
- Parceria com empresas internacionais para consolidação do mercado externo;
- Mix variado de produtos, focando a sofisticação e a associação com a caipirinha;
- Predominantemente o segmento é constituído por empresas de standardização de aguardente.

A Figura 2 apresenta uma unidade industrial de fabricação de aguardente de cana-de-açúcar de grande porte.



Figura 2 - Unidade industrial de aguardente de cana-de-açúcar
FONTE: <http://www.ypioca.com.br/fabricas.html>

O subsegmento Artesanal Tradicional, do ponto de vista econômico, é considerado agroindústrias familiares, onde o engenho de cachaça, pecuária e agricultura estão em inter-relacionados. A organização da produção ainda é bastante heterogênea e sem o uso das ferramentas da qualidade para assegurar ao processo produtivo uma bebida de qualidade reconhecida.

Características do subsegmento artesanal tradicional produtor de cachaça de alambique:

- Cana-de-açúcar colhida crua (sem ser queimada) e moída em até 24 horas;
- Produção da cana-de-açúcar, geralmente própria;
- Grande quantidade de unidades produtivas sem CNPJ;
- Sistema produtivo arcaico, mas em convivência com produtores mais modernos;
- Forte integração com a pecuária partilhando o espaço físico da cadeia produtiva e o aproveitamento dos resíduos sólidos do processo para ração e adubação;
- Comercialização da bebida em mercados locais, dependendo de atravessadores;
- Processo fermentativo realizado em boa parte dos engenhos em dornas de inox e destilação em alambique de cobre tradicional.

O subsegmento de produção artesanal modernizante conserva os princípios do processo artesanal tradicional, mas, com o diferencial que vem atender as exigências do mercado e a legislação vigente. A qualidade e a padronização da bebida são asseguradas pelo uso das ferramentas da qualidade “5S, BPF e C (Boas Práticas de Fabricação e Controle) e APPCC (Análises de Perigos e Pontos Críticos de Controle)” e por equipamentos mais modernos (COUTINHO, 2001).

Características do subsegmento artesanal modernizante:

- Cana colhida sem queima e moída em até 24 horas;
- Produção e consumo de cana-de-açúcar em sua maior parte própria;
- Integração da produção da cachaça com outra atividade agropecuária;
- Fator de diferenciação: vínculo com as tradições regionais e qualidade sensorial da cachaça reconhecida;
- Acesso a mercados nacionais e internacionais;
- Organização produtiva se diversificando com associativismo e cooperativismo;

A Figura 3 apresenta o sistema de destilação de um engenho artesanal modernizante.



Figura 3 - Sistema de destilação em engenho de cachaça modernizante

FONTE: <http://www.alambiquessantaefigenia.com.br/>

3.3 - Perspectivas do segmento produtor de cachaça de alambique

O mercado de cachaça e de aguardente de cana-de-açúcar (mistura de tradições centenárias e pequenas companhias familiares e destilarias de grande e médio porte) atende a todos os Estados do Brasil e vários países (ABRABE, 2006).

A Figura 4 mostra os quantitativos da exportação de cachaça de alambique para diversos países.

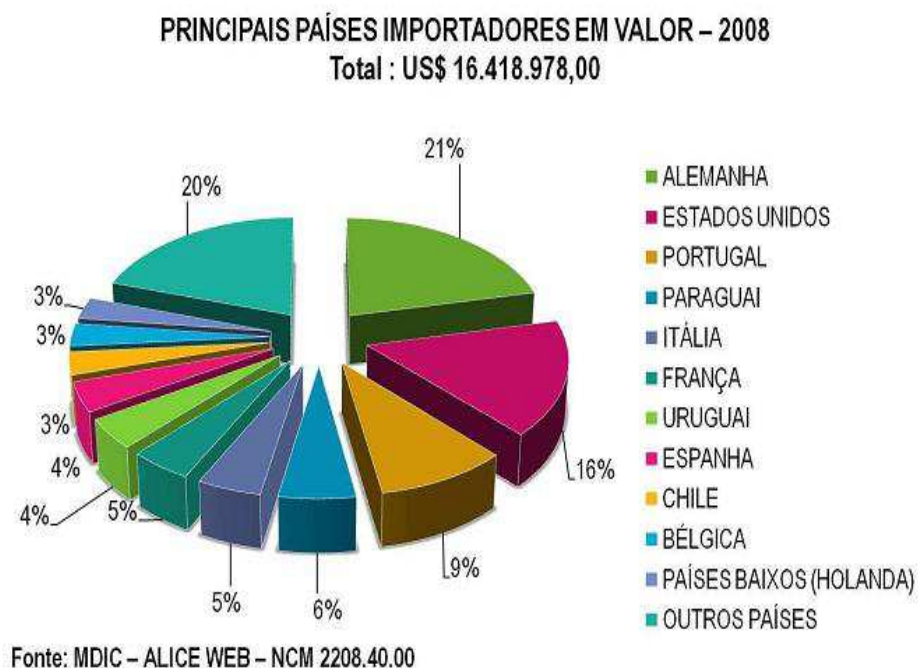


Figura 4 - Países importadores de cachaça de alambique

Segundo Ribeiro (2000), a grande demanda pela cachaça artesanal deve-se ao fato de que em Minas Gerais foi realizado um trabalho de incentivo a melhoria da qualidade da bebida sendo introduzidos melhoramentos no processo de produção e no design de embalagens, mas, com o cuidado de não modificar, em sua essência, as tradições da prática artesanal. Dessa forma, conferiu-se mais qualidade a cachaça e uma roupagem em níveis semelhantes às bebidas destiladas mais famosas do mundo. Também ocorreu a inserção do BDMG - Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais, no incentivo a essa atividade, passando a financiar os projetos de implantação de novas unidades industriais de cachaça de alambique modernizante.

3.4 - Processo de fabricação de cachaça de alambique

O processo de fabricação de cachaça branca em engenhos artesanais é desenvolvido obedecendo as seguintes etapas: recepção da cana-de-açúcar, seleção da cana-de-açúcar, limpeza da cana, moagem da cana, diluição do caldo, decantação do caldo, preparação do fermento, inoculação do fermento no caldo, fermentação do caldo e destilação do vinho do caldo de cana (destilação da cachaça), descanso da cachaça em barris de madeira que não confere cor, filtragem da cachaça descansada e envasamento, ou envasamento da bebida após destilação (CARDOSO, 2001).

Segundo Cleto e Mutton (1995), uma das características do processo de fabricação de cachaça artesanal é o uso de insumo (ácido acético, fubá de milho e farelo de arroz) no processo fermentativo.

Segundo Maia et al. (1997), a cachaça branca recém-destilada e a cachaça branca maturada (descansada) são os dois tipos mais produzidas nos engenhos artesanais tradicionais e comercializadas no mercado.

Nos engenhos artesanais modernizantes, ou seja, nos engenhos que aderiram ao uso de processos mais modernos e as ferramentas da qualidade, o processo de fabricação de cachaça conserva os mesmos princípios do artesanal tradicional, diferenciando-se no sistema de preparação de cana para moagem, sistema de geração de calor para aquecimento dos alambiques (caldeira), dornas de destilação em aço inox, controle de qualidade dos produtos em processo e do produto final (cachaça) e produtividade, (NOVAIS, 1997).

Na Figura 5 está apresentada a planta química do processo de fabricação de cachaça em engenho artesanal tradicional de pequeno porte, considerando para fermentação alcoólica cana-de-açúcar da região, mosto de caldo de cana com brix variando de 15 – 16, fermentação alcoólica desenvolvida em dornas de aço inox com processo em batelada, uso e multiplicação de fermento selvagem obtido da própria cana-de-açúcar (*saccharomyces cerevisiae*), aproveitamento do pé-de-cuba (massa de células de levedura) após 3 - 4 horas do final da fermentação para posterior fermentação alcoólica e destilação do vinho de caldo de cana em alambique de cobre com aquecimento direto em fornalha usando o bagaço da própria cana-de-açúcar como combustível.

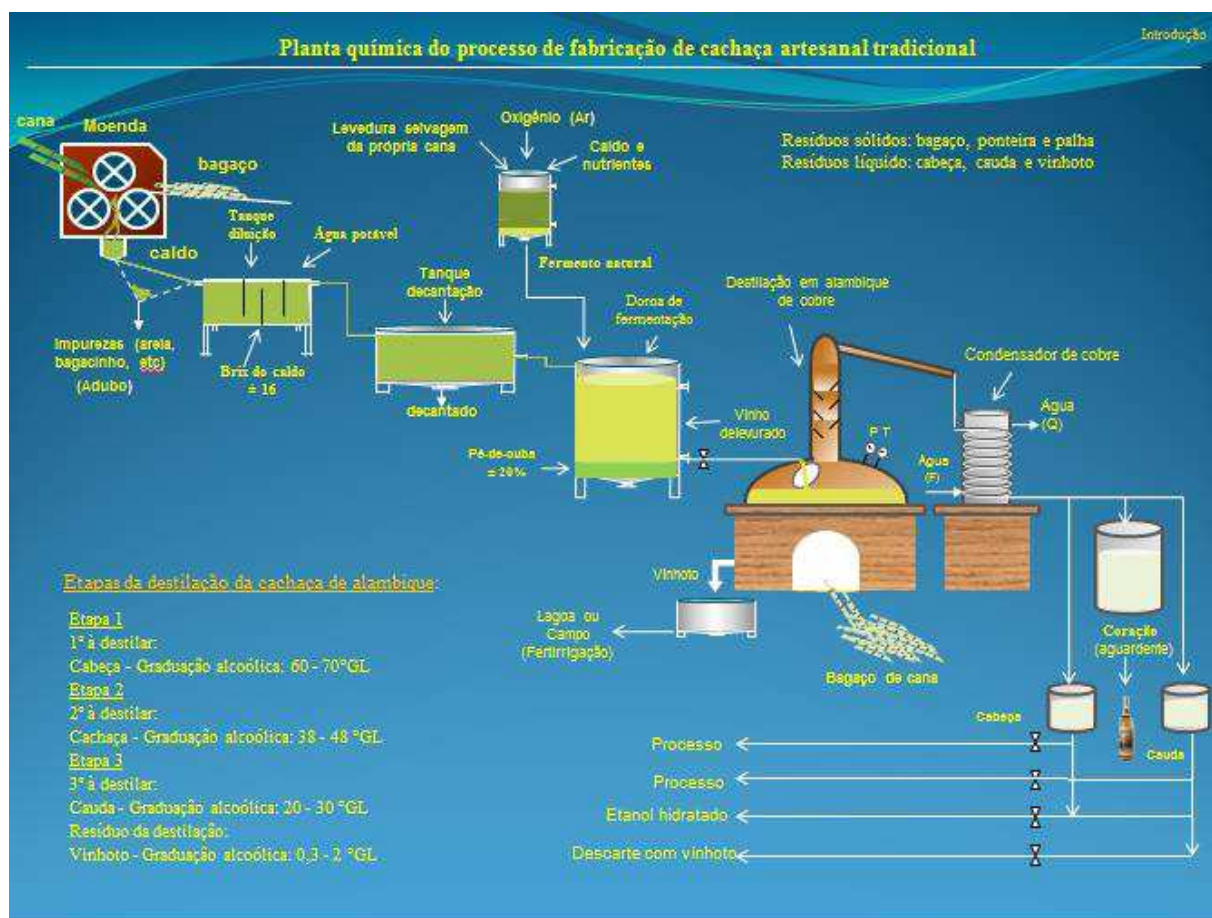


Figura 5 - Planta química de engenho artesanal tradicional
FONTE: Adaptado de: <http://www.alambiquessantaefigenia.com.br/>.

A Figura 6 apresenta o fluxograma do processo de fabricação de cachaça de alambique nos engenhos modernizantes, unidades industriais que se diferenciam do sistema artesanal por usarem rotineiramente a ferramenta da qualidade BPF e C (Boas Práticas de Fabricação e Controle), laboratório de físico-química para o controle de qualidade do processo e do produto final, aproveitamento dos resíduos sólidos do processo (palha e ponteira) para adubação da cana-de-açúcar, uso do vinhoto como agente fertirrigador (fertilização e irrigação do solo da própria lavoura de cana) e o processo de compostagem (aproveitamento de vinhoto, bagaço de cana e esterco de aves) para geração de adubo orgânico sólido.

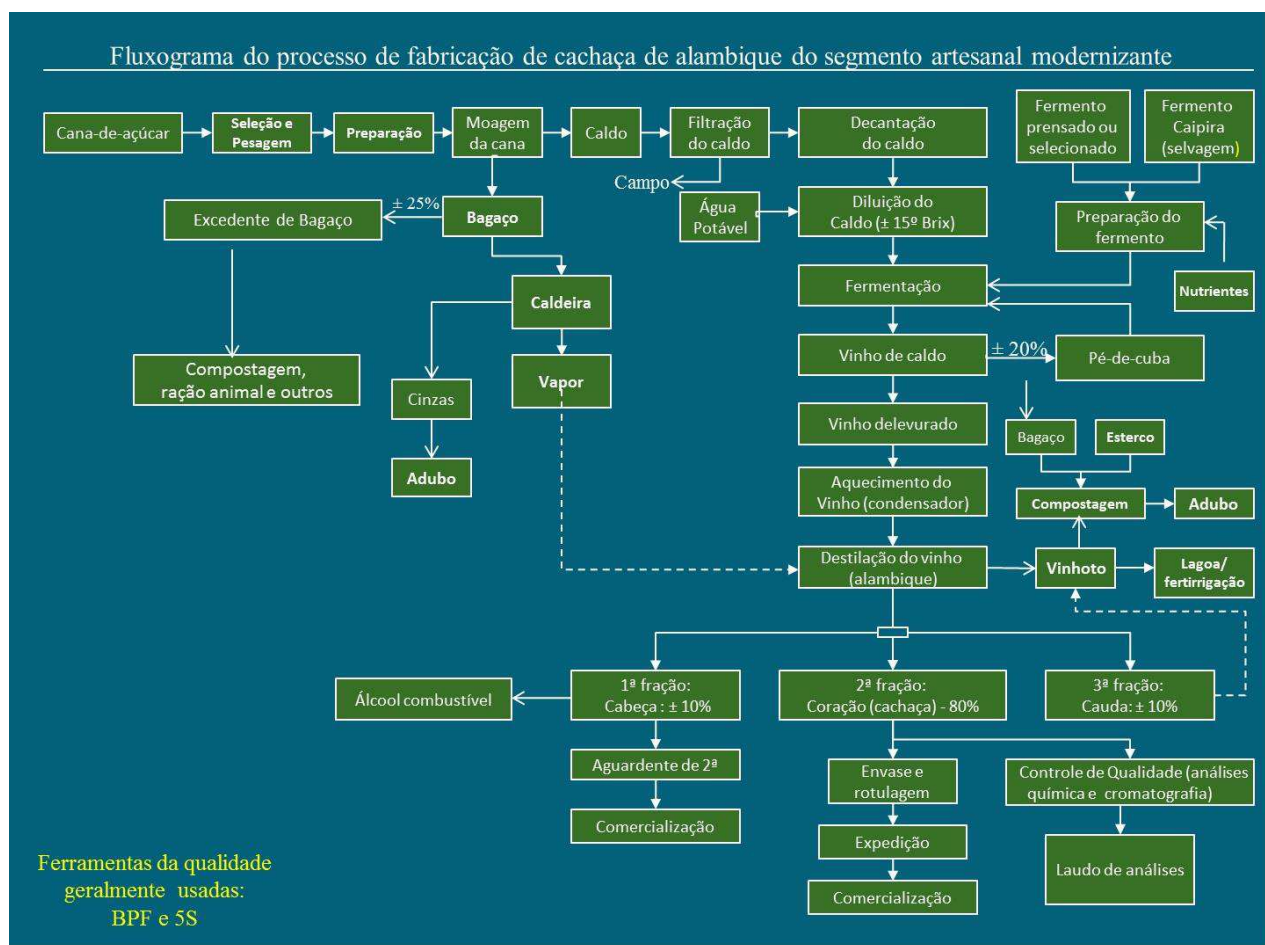


Figura 6 - Fluxograma de fabricação de cachaça em engenho modernizante

3.5 - Padrões de identidade e qualidade de cachaça de alambique

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) através da Instrução Normativa nº13 de 29/06/2005, publicada em 30/06/2005 no Diário Oficial da União (DOU), (BRASIL, 2005) estabeleceu para cachaça de alambique padrões de identidade e qualidade para diferenciar e legalizar bebida.

A Tabela 2.1 apresenta os itens e tolerâncias para composição química da cachaça de alambique, inclusive a graduação alcoólica, considerando valores máximos admissíveis de componentes químicos mais voláteis e menos voláteis do que o etanol (ALVES, 2004).

Tabela 1 - Itens e tolerâncias para composição química da cachaça de alambique

ITENS ANALISADOS	TOLERÂNCIAS
Grau alcoólico	38°GL a 48°GL a 20 °C
Acidez volátil (em ácido acético)	Máximo de 0,15 g/100 mL (álcool anidro)
Ésteres totais (em acetato de etila)	Máximo de 0,20 g/100 mL (álcool anidro)
Aldeídos (em aldeído acético)	Máximo de 0,030 g/100 mL (álcool anidro)
Furfural (aldeído)	Máximo de 0,005 g/100 mL (álcool anidro)
Álcoois superiores	Máximo de 0,320 g/100 mL (álcool anidro)
Soma dos componente secundários	Máximo de 600 mg/100 mL (álcool anidro)
Álcool metílico (Metanol)	Máximo 0,25 ml/100 mL (álcool anidro)
Carbamato de etila	Máximo de 150 µg/L
Diacetil (2,3 butanodiona)	< 2 mg/100 mL (álcool anidro)
Acroleína (2-propanal)	< 5 mg/100 mL (álcool anidro)
Cobre	Máximo de 0,15 g/100 mL (álcool anidro)
Chumbo	< 200 µg/L
Arsênio	< 100 µg/L

FONTE: MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO (2005)

Segundo Alves et al. (2010), os componentes voláteis da aguardente e da cachaça, principalmente os ésteres, são os que conferem aroma e sabor a bebida.

3.6 - Produção industrial de etanol líquido

Segundo Magalhães et al. (1991), o segmento industrial produtor de etanol líquido no Brasil teve notável ascensão nas décadas de 1970 e 1980 com o Programa Nacional do Álcool (PROALCOOL) criado em 14 de novembro de 1975 pelo decreto n° 76.593 no Governo Geisel. O objetivo do PROALCOOL era evitar o aumento da dependência externa de divisas quando dos choques de preço de petróleo no mercado externo.

De 1975 a 2000 foram produzidos cerca de 5,6 milhões de veículos a álcool hidratado e acrescido a isso, o programa induziu a adição de álcool anidro (cerca de 5% a 25%) do volume de gasolina pura. Essa adição proporcionou uma redução de gás carbônico da ordem de 110 milhões de toneladas de carbono. Além disso, a adição de etanol a gasolina favoreceu a uma redução na importação de aproximadamente 550 milhões de barris de petróleo e ainda, proporcionando uma economia de divisas da ordem de 11,5 bilhões de dólares (MACEDO e NOGUEIRA, 2004).

A produção de etanol no Brasil, segundo Roberto e Carlos (2010), atingiu o patamar de 28 bilhões de litros, gerando mais de dois milhões de empregos diretos e contribuindo para formação do PIB com 1,5%. A perspectiva para 2030 é que o Brasil poderia estar produzindo 20% do combustível ecológico do planeta, o equivalente a 130 bilhões de litros de etanol, graças à sua tecnologia de ponta. A inovação tecnológica do segmento é garantida pelo trabalho do Centro de Tecnologia da Cana (CTC), em Campinas (SP), uma instituição bancada por 140 usineiros de açúcar e álcool. Os 150 pesquisadores do CTC (Centro de Tecnologia da Cana-de-açúcar) trabalham para otimizar a cadeia produtiva da cana-de-açúcar desde o cultivo da lavoura à transformação em produtos úteis, lucrativos e com tecnologia sustentável.

O etanol brasileiro é produzido em destilarias de álcool anexas as usinas de açúcar e em destilarias autônomas a partir da cana-de-açúcar e é obtido por via bioquímica. O álcool produzido em destilarias apresenta percentuais de componentes secundários diferentes em função do seu uso. Segundo Macedo e Nogueira (2004), o Brasil detém o maior parque industrial de produção de etanol oriundo de cana-de-açúcar do mundo, com a mais alta tecnologia.

Para o ano de 2015, a meta é produzir 50 bilhões de litros de álcool derivado da produção agrícola de 1 bilhão de toneladas de cana-de-açúcar. As capacidades produtivas das unidades industriais de fabricação de etanol variam de nível micro à macro e a na Paraíba, segundo informações dos gerentes industriais das destilarias GIASA e JAPUNGU, com capacidade nominal de produção é de 550.000 litros / dia e 400.000 litros /dia de etanol respectivamente, as destilarias no nosso Estado apresentam porte de médio a grandes unidades industriais.

A Figura 7 apresenta uma fotografia de uma destilaria de etanol de grande porte que produz diferentes tipos de álcool (etanol hidratado combustível, etanol anidro combustível, etanol neutro e etanol industrial) e aproveita o vinhoto para fertirrigação da lavoura de cana-cana-de açúcar.



Figura 7 - Planta química moderna de fabricação de etanol em escala industrial
FONTE: <http://br.bing.com/images/search?q=fotografias+de+destilaria+de+etanol>

Definida na Resolução ANP N° 7, de 9.2.2011 - DOU 10.2.2011, a graduação alcoólica do etanol combustível hidratado e do etanol anidro produzido em destilarias varia entre 92,3°INPM a 93,6°INPM e 99,5°INPM a 99,8°INPM respectivamente. Dependendo da graduação alcoólica o etanol pode ser classificado em:

- Etanol absoluto - etanol produzido com alto grau de pureza (99,99%) geralmente obtido por síntese química e comumente usado em ensaios laboratoriais;
- Etanol hidratado - usado comumente como combustível automotivo com grau de pureza variando entre (92,3 a 93,6 °INPM);

- Etanol anidro - destinado à mistura com a gasolina na proporção de até 25% com pureza da ordem de (99,5 °INPM mín.);
- Etanol desnaturado - álcool hidratado acrescido de uma ou mais substâncias que confere sabor ou odor repugnante, a fim de impedir seu uso em bebidas, alimentos e produtos farmacêuticos, mas sem efeito toxicológico e grau de pureza variado e pode ser aplicado para a limpeza de muitos itens domésticos;
- Etanol neutro - álcool hidratado com baixo grau de impurezas voláteis destinado à indústrias de bebidas, farmacêuticas e uso doméstico com grau de pureza entre (70°GL a 96°GL);
- Etanol industrial - álcool hidratado produzido exclusivamente para indústria química de tinta, corante, borracha, vernizes e outras com pureza da ordem de 96°GL;
- Etanol de cereais - álcool obtido a partir de cereais (milho, soja, arroz, outros) geralmente usado na preparação de perfumes, colônias e produtos aromatizantes com grau de pureza da ordem de 96°GL;
- Etanol gel antisséptico (álcool gel) - álcool com característica viscosa e graduação alcoólica de no mínimo 70°INPM e no máximo 77°INPM, produzido por indústria química de saneantes e/ou farmacêutica a partir do etanol neutro de destilaria.

Na produção de etanol gel antisséptico tradicional, usa-se o etanol líquido neutro de uso farmacêutico especificado pela ANVISA com graduação alcoólica variando entre 96°GL a 97°GL, podendo o álcool ser oriundo de cana-de-açúcar ou de cereais. Para produzir etanol gel antisséptico e comercializa-lo é necessário que o produto e a empresa sejam registrados junto a ANVISA.

A Tabela 2 apresenta as especificações técnicas do etanol líquido neutro produzido a partir da cana-de-açúcar nas destilarias de álcool anexas às usinas e em destilarias autônomas, a exemplo “Destilaria MIRIRI, Destilaria Japungu e Destilaria GIASA” localizadas nos município de Santa Rita e Pedras de Fogo no Estado da Paraíba, álcool recomendado pela ANVISA (Agência de Vigilância Sanitária) para produção de etanol gel antisséptico. O etanol neutro fabricado pelas destilarias de álcool geralmente destina-se as indústrias farmacêuticas, indústria de saneantes (fabricas de produtos de higiene e limpeza) e indústria de alimentos (bebidas).

Tabela 2 - Especificações Técnicas do Etanol Neutro

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO
Teor alcoólico	°GL	96,1	Densimetria
Aspecto	Límpido	Visual
Cor	Incolor	Visual
Odor	Característico	Sensorial
Acidez (ácido acético)	mg/L	10 máx.	Titulometria
Condutividade elétrica	μS/m	50 máx.	Condutimetria
Massa específica a 20°C	kg/m ³	889	Densimetria
Temperatura de ignição	°C	363°C	----- (*)
pH	----	6,5 a 7,5	Potenciometria
Ponto de ebulição	°C	78,4	----- (*)
Resíduo por evaporação	mg/100mL	5 máx.	Estufa
on Sulfato,	mg/100mL	2 máx.	Cromatografia de íons
Sódio, máx.	mg/kg	2 max.	Espectrofotometria
Cobre, máx.	mg/kg	0,03	Espectrofotometria
Aldeídos, máx.	mg/L	5 máx.	Cromatografia gasosa
Ésteres, máx.	mg/L	5 máx.	Cromatografia gasosa
Álcoois Superiores, máx.	mg/L	5 máx.	Cromatografia gasosa
Metanol	mg/L	10 máx.	Cromatografia gasosa

FONTE: GIASA (2012)

(*) - Ensaio não realizados na destilaria GIASA

3.7 - Produção de etanol gel antisséptico

As empresas que fabricação álcool gel no Brasil, tem utilizado principalmente o álcool etílico neutro produzido pelas destilarias do segmento sucroalcooleiro e não se tem nenhum registro na agência reguladora ANVISA de fabricação de etanol gel antisséptico com uso de álcool de outra fonte. O processo produtivo de Etanol Gel Antisséptico consiste de várias etapas. Inicialmente dissolve-se o espessante sintético (carbopol) em etanol e em seguida adicionam-se os componentes químicos (água deionizada, trietanolamina e glicerina) em proporções e tempos diferentes. Os componentes usados nas

formulações têm funções específicas: água deionizada (H_2O) - diluente, etanol neutro (CH_3CH_2OH) - agente antisséptico, carbopol ($C_3H_4O_2$) $_n$ - espessante acrílico sintético, trietanolamina ($C_6H_{15}NO_3$) - regulador do pH e glicerina - umectante.

O segmento industrial de fabricação de etanol gel antisséptico é constituído por indústrias químicas de fabricação de saneantes (produtos de higiene e limpeza), indústrias farmacêuticas e farmácias de manipulação. As unidades produtoras do etanol gel tanto do ramo químico como farmacêutico, tem autorização do Governo Federal via ANVISA (Agência de Vigilância Sanitária) conforme resolução nº46 de 20 de fevereiro de 2002 e Resolução e nº42, de 25 de outubro de 2010 para produzir e comercializar o etanol gel.

Quanto ao porte das unidades fabris de produção de álcool gel antisséptico destacam-se as médias e grandes empresas localizadas principalmente no centro sul do Brasil, a exemplo de EDUMAX do Brasil Ltda., JIREH Indústria e Comércio Ltda., FARMAX do Brasil, FORTSAN, REAL GEMS, BOTANIK COSMÉTICS e outras.

No Estado da Paraíba, conforme informação da AGEVISA (Agência de Vigilância Sanitária da Paraíba) em setembro de 2011 não se tinha nenhuma unidade industrial de fabricação de álcool etílico gel antisséptico reconhecido pela ANVISA. Nos rótulos das embalagens de etanol gel à venda nos estabelecimentos comerciais (supermercados e farmácia) no Estado da Paraíba, verifica-se que, o álcool gel é produzido em outros centros, a exemplo de: São Paulo, Rio de Janeiro, Pernambuco, Rio Grande do Sul, Bahia.

Na Figura 8 está apresentada uma unidade industrial de pequeno porte (micro indústria) de fabricação de álcool gel antisséptico, seguramente registrada na ANVISA, com planta química do processo constituída de reator descontínuo com sistema de agitação com controle de rotação variável, controle de alimentação dos componentes químico da formulação (álcool, carbopol, água deionizada, trietanolamina e glicerina) automático, máquina de envase do etanol gel e que usa etanol líquido neutro com graduação alcoólica variando de 94°GL a 96°GL, produzido a partir da cana-de-açúcar em destilaria de álcool do segmento sucroalcooleiro.



Figura 8 - Micro indústria de fabricação de etanol gel antisséptico tradicional

FONTE: http://s2.glbimg.com/zL21ZtvGCTKJDY1PVHWwYPjucH6jBhvO2qHbrJjbFIJIoZGixxa_8qOZvMp3w/s.glbimg.com/jo/g1/f/original/2012/07/19/alcoolgel_vendaudi_300x225.jpg

Por ser produto de fácil preparação, o etanol gel antisséptico pode ser produzido em nível laboratorial e industrial, mas, para garantir sua eficácia e eficiência é necessário ensaios físico-químicos (viscosidade, pH, graduação alcoólica) e microbiológicos de acordo com o que está estabelecido na legislação. A formulação tradicional de preparação do Etanol Gel Antisséptico é constituída de componentes químicos que confere ao produto, poder germicida, poder residual de fixação do etanol à pele conferido pela viscosidade e emoliência (ver anexo).

O Etanol Gel Antisséptico para ser usado como agente de prevenção e preservação da saúde deve apresentar as especificações técnicas estabelecidas pela ANVISA (Agencia de Vigilância Sanitária). No Anexo está discriminada a formulação do etanol gel antisséptico tradicional e suas especificações técnicas.

3.8 - Principais aplicações do etanol gel antisséptico

Segundo a ANVISA (2010), as principais aplicações do etanol gel antisséptico são na desinfecção, higienização e assepsia das mãos principalmente em hospitais, clínicas, ambulatórios e em ambientes com grande contingente. A Figura 9 apresenta as formas de comercialização do álcool gel antisséptico no mercado.



Figura 9 - Álcool gel antisséptico em embalagens diversas
FONTE: <http://www.aen.pr.gov.br/modules/galeria/detalhe.php?foto=151708&evento=29883#menu-galeria>

3.9 - Legislação do etanol gel antisséptico

Por ser classificado como produto antisséptico com poder de exterminar microrganismos patogênicos (vírus, bactérias e fungos) que transmitem doenças através do contato com as mãos, o uso do etanol gel a 70°INPM é obrigatório principalmente em ambientes de áreas de saúde.

O parágrafo I do Artigo 2º da resolução nº 46 ANVISA diz que: o álcool etílico neutro comercializado com graduações acima de 54ºGL (cinquenta e quatro graus Gay Lussac) à temperatura de 20°C (vinte graus Celsius) deverá ser comercializado unicamente em solução coloidal na forma de gel desnaturado e em volume máximo de 500 gramas em embalagens resistentes ao impacto. Várias leis municipais determinam o uso obrigatório do álcool gel em estabelecimentos de prestação de serviços como hospitais, restaurantes, lanchonetes, creches e outros dentre estas destacamos: Lei 3181 de 2009 - Rio de Janeiro e Lei 10.447 de 2010 - Uberlândia.

3.10 - Mercado do etanol gel antisséptico

O mercado do etanol gel antisséptico no Brasil é constituído por fornecedores de matérias-primas (destilarias de álcool e indústrias químicas), indústria de embalagens plásticas, consumidores do produto (hospitais, clínicas, postos de saúde, ambiente doméstico e outros) e o mercado concorrente (indústrias de saneantes, farmacêuticas e farmácias de manipulação).

A introdução do etanol gel no mercado brasileiro já mostra resultados positivos para a saúde pública. Pesquisa da Sociedade Brasileira de Queimadura (SBQ) divulgada em janeiro de 2010, em 56 centros de tratamentos de queimados no Brasil, após a publicação da RDC nº46, o número de acidentes (queimaduras) por álcool teve redução entre 60% e 65% (ANVISA, 2010).

Atualmente os principais pontos de vendas do etanol gel antisséptico são: drogarias, farmácias, Supermercados, Lojas de Cosméticos e Lojas Especializadas em produtos de uso Médico e Odontológico.

O etanol gel é comercializado em embalagens plásticas de 500 gramas, 1000 gramas, 2000 gramas e 5000 gramas em vasilhames de polietileno e PET (Polietileno Tereftalato).

3.11 - Perspectiva do segmento produtor de etanol gel antisséptico

Segundo a ABIBLA (Associação Brasileira das Indústrias de Produtos de Higiene e Limpeza e Afins), o hábito de usar álcool gel nas mãos veio para ficar e está

assegurado em resolução da ANVISA e é uma tendência do mercado brasileiro, apesar de ter surgido com a preocupação em relação à gripe suína. Existe uma demanda reprimida e insatisfeita por etanol gel devido ao alto preço do produto no mercado, mas, a perspectiva de crescimento de consumo depende de desoneração de impostos e processos que diminuam o custo de produção do etanol gel (SANTOS, 2002).

3.12 - A tecnologia de micro-ondas

As micro-ondas (MO's) são ondas eletromagnéticas compreendida em uma larga banda de frequência que se estende de 300 – 300.000 MHz (0,3 - 300 GHz). Em termos de comprimento de ondas têm-se valores compreendidos entre 1m – 1mm, respectivamente. Observando os espectros eletromagnéticos da Figura 10, vê-se claramente que as micro-ondas estão confinadas entre o infravermelho e as ondas de rádios. A larga faixa de espectro de radiação micro-ondas confere a esses osciladores, grande versatilidade de aplicação em função da frequência selecionada. Desta forma, radares civis, aparelhos celulares e fornos domésticos são exemplos de dispositivos utilizados no cotidiano de mais de um bilhão de pessoas em todo mundo, tendo em comum o funcionamento por MO's em diferentes frequências de operação (SANSEVERINO, 2002)

Na Figura 10 está representado o espectro eletromagnético com escalas correspondentes de frequência e comprimento de onda, para os diversos tipos de radiações: Ultravioleta (UV), Infra - Vermelho (IV), Ondas de Rádio (OR), Raios-X (R-X), Raios - γ (R- γ) e Micro-ondas (MO's).

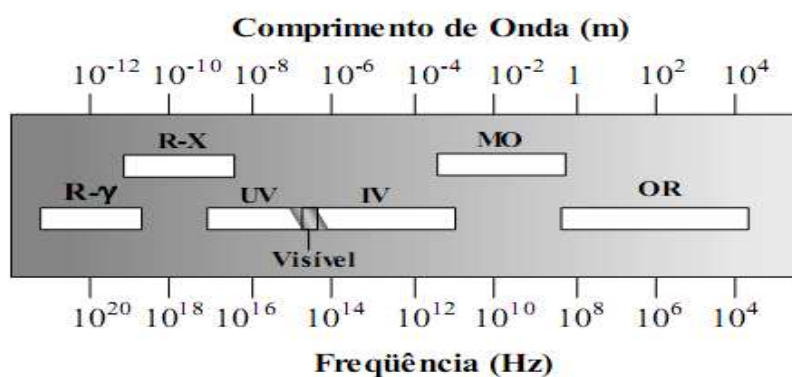


Figura 10 - Espectro eletromagnético com escalas correspondentes de frequência e comprimento de onda dos vários tipos de radiações
 FONTE: THOSTENSON & CHOUT, (1999).

A tecnologia de micro-ondas, assim como uma série de outras tecnologias revolucionárias que até hoje proporciona conforto para humanidade, originou-se da necessidade de se ter equipamentos mais modernos em época de guerra.

O forno de micro-ondas doméstico, tem sua história originada em um episódio militar ocorrido durante a Segunda Guerra Mundial. Logo após J. T. Randall e H. H. Boot terem inventado o magnetron, que é o dispositivo eletrônico geralmente usado em RADAR (Radio Detection and Ranging). A Inglaterra necessitava produzir em larga escala, magnetrons, para suprir sua própria necessidade e de aliados que precisavam contar com equipamentos para detectar aeronaves e navios inimigos principalmente da Alemanha Nazista. Para atender a tamanha necessidade, em tempo hábil, a Inglaterra enviou uma comissão de cientistas aos EUA para solicitar auxílio nesta difícil tarefa. Como havia questões não somente científicas envolvidas no projeto, os autoridades dos EUA sugeriram que os ingleses buscassem a um homem por nome Percy L. Spencer, um engenheiro prático, no entanto de alta competência inquestionável, que trabalhava numa pequena empresa de 15 funcionários chamada Raytheon em Massachusetts cidade americana. Desta parceria surgia a maior empresa fabricante de radares do mundo. Quando a Segunda Guerra acabou, a Raytheon contava com nada menos do que com 15 mil funcionários (BUFFLER, 1993; SANSEVERINO, 2002).

Percy L. Spencer descobriu a influência das radiações micro-ondas sobre os alimentos em 1940 quando acidentalmente se postou contra um guia de onda aberto (um duto retangular utilizado pra transmitir micro-ondas) e uma barra de chocolate derreteu em seu bolso. A partir desse evento foi construído o primeiro forno de micro-ondas experimental (SANSEVERINO, 2002).

As primeiras tentativas de encontrar uma aplicação industrial da radiação para o efeito de aquecimento em áreas como enrijecimento de madeira, esterilização de solo e branqueamento de cogumelos foram altamente frustrantes, e somente a introdução do forno de micro-ondas de restaurante em 1955 gerou algum entusiasmo em relação à nova técnica. O forno de micro-ondas doméstico surgiu logo em seguida, no final de 1960 e no começo de 1970, quando as indústrias japonesas Hitachi, Matsushita, Toshiba e Sharp entraram no mercado. Por volta de 1977, a Sharp havia produzido perto de 2 milhões de fornos de micro-ondas.

As energias de micro-ondas, correspondentes a 2450 MHz (0,0016 eV), não são capazes de provocar rupturas em ligações químicas moleculares. Portanto, é evidente que fenômenos de ativação molecular provavelmente não ocorrerão via irradiação por micro-ondas, como em processos fotoquímicos, mas são capazes de interagir com moléculas polares ou íons que oscilam sob o efeito do campo elétrico ou magnético (KAPPE et al., 2009).

A geração de radiação eletromagnética é resultante da aceleração de uma carga elétrica em um dispositivo ressonante. Para se atingir alta energia e frequência requerida para o aquecimento, muitas fontes de micro-ondas possuem tubos de vácuo. Os magnetrons que são usados em forno de micro-ondas domésticos são eficientes e confiáveis e, por ser fabricados em larga escala, são os equipamentos geradores da radiação (fontes de micro-ondas de baixo custo). Esse dispositivo utiliza estruturas ressonantes para gerar campo eletromagnético, e, portanto, são capazes de gerar campos de frequências fixas (THOSTENSON; CHOU, 1999).

As radiações eletromagnéticas (micro-ondas) são constituídas por dois campos de força (campo elétrico e campo magnético) perpendiculares entre si em frequência que variam de 0,3 GHz a 300 MGz.

A radiação micro-ondas usada para aquecimento de materiais, apresenta campo elétrico alternando carga elétrica positiva e negativa numa frequência de 2,45 GHz, ou seja, há oscilações nos campos de 2,45 bilhões de ciclos por segundo.

Nas Figuras 11 e 12 estão representados detalhes de um magnetron cujo os dois imãs externos são usados para criar um campo magnético ortogonal ao campo elétrico, sendo que, o campo magnético aplicado cria uma força circunferencial “raios de roda” que atuam nos elétrons à medida que estes são acelerados até o anodo. Esta força faz com que os elétrons “viajem” numa direção espiral, criando assim, uma nuvem eletrônica giratória. À medida que os elétrons são acelerados e atravessam as cavidades ressonantes do magnetron, há oscilações na nuvem eletrônica, gerando com esse fenômeno, ondas eletromagnéticas cuja frequência das radiações depende do tamanho das cavidades (THOSTENSON; CHOU, 1999).

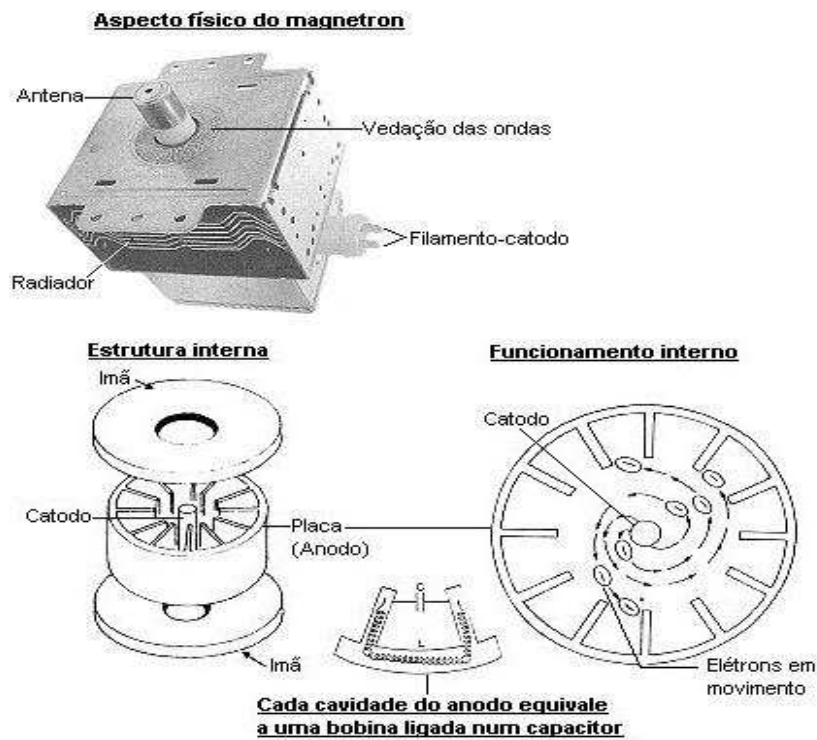


Figura 11 - Estrutura física de um magnetron
FONTE: <http://search.babylon.com/?q=fotografia+de+magnetron>

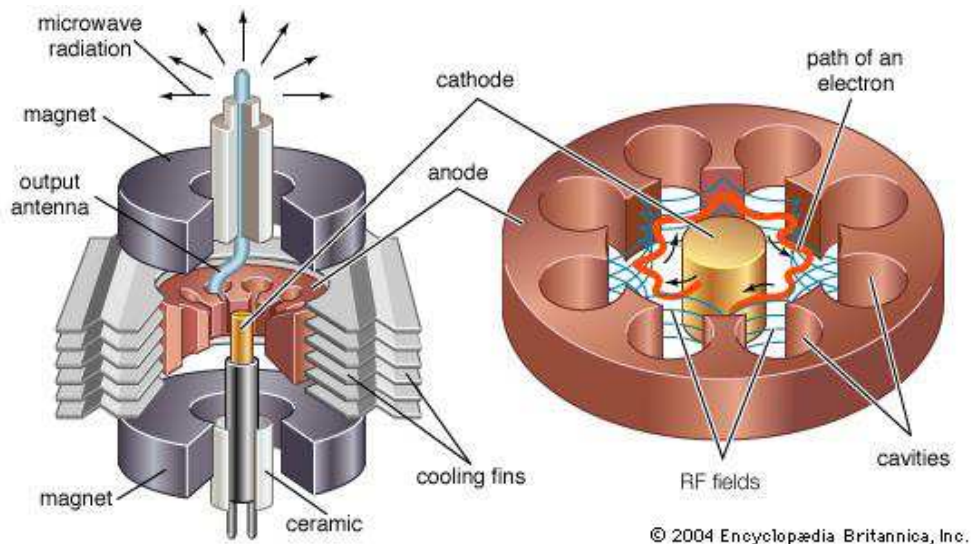


Figura 12 - Esquema de um magnetron
FONTE: <http://search.babylon.com/?q=fotografia+de+magnetron>

No magnetron, a energia eletromagnética é acoplada de uma das cavidades ressonantes até as linhas de transmissão por meio de uma linha coaxial ou lançador de guia de onda e emitida ao meio.

Em geral, existem três formas qualitativas de classificação de materiais com respeito à interação com energia de micro-ondas: a) transparentes plástico (teflon), vidro, cerâmica, papel e outros materiais de baixa perda dielétrica - micro-ondas atravessam o material com pouca atenuação; b) opacos ou refletores (metais) - as micro-ondas são refletidas e não penetram no material; c) absorventes ou susceptores (matérias de alta perda dielétrica) – absorvem energia de micro-ondas com certo grau, baseados no valor do fator de perda dielétrica (HEDDLESON; DOORES, 1994).

Dois parâmetros importantes no processamento por micro-ondas são: a energia absorvida (P) e a profundidade de penetração de micro-ondas (D). Diferentemente de aquecimento convencional, estes parâmetros são altamente dependentes das propriedades dielétricas dos materiais e, na prática, podem promover outro grau na flexibilidade do processo (HEDDLESON; DOORES, 1994).

Quantificação de energia de micro-ondas:

A energia absorvida pelo material por unidade de volume está representada na equação abaixo:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \epsilon'' \cdot |E|^2 \cdot V \quad (3.1)$$

Onde, P é a energia absorvida (joule/s), f a frequência de micro-ondas (Hz), ϵ'' o Fator de perda elétrica do material, E a magnitude do campo eletromagnético (V/m), V o Volume do material (m^3).

Assumindo que ϵ_0 é a Constante dielétrica no vácuo - $8,85 \times 10^{-2} \text{ F / m}$, ϵ'_r a Constante dielétrica relativa ($\epsilon'_r = \epsilon' / \epsilon_0$), ϵ'' o Fator de perda dielétrica do material, ϵ''_r o fator de perda dielétrica relativa ($\epsilon''_r = \epsilon'' / \epsilon_0$), assim a equação (3.1) pode ser escrita como sendo:

$$P = 5,6 \times 10^{-11} \cdot f \cdot \epsilon''_r \cdot \epsilon_0 \cdot |E|^2 \quad (\text{W / m}^3) \quad (3.2)$$

A razão entre o fator de perda dielétrica do material, ϵ'' e o fator de dissipação, ϵ' , corresponde a tangente de perda. Esta tangente indica que quanto maior for seu valor mais a substância é aquecida por micro-ondas.

3.13 - Micro-ondas no laboratório de química

Os novos procedimentos laboratoriais, a exemplo de técnicas de extração de substância de produtos sólidos e líquidos, voltados para separação de componentes de misturas, estão cada vez mais centrados na redução do custo, tempo e energia para realizar análises de rotina, bem como, na preservação do meio ambiente. Na área de ensaios químicos, a secagem e a destilação convencional comumente usada na determinação do teor de água e de componentes voláteis de amostras, são métodos extensivamente utilizados na química analítica e demanda grandes quantidades de energia e solventes.

Segundo Thostenson e Chou (1999), as pesquisas desenvolvidas mostram que, o uso de micro-ondas associado à secagem convencional acelera a extração de substâncias voláteis, principalmente em alimentos, e é atualmente considerado um procedimento alternativo que apresenta significativo custo/benefício.

Na produção e refino de petróleo, segundo Foruny et al. (2008), especificamente nos processos de separação de emulsões e reações catalíticas típicas das unidades de hidrefino nas refinarias de petróleo, o uso de micro-ondas já é uma realidade em nível laboratorial que proporciona menor tempo de processamento do petróleo com menos custo. Emulsões de petróleo com teores de água de 30% em massa foram aquecidas num banho térmico à temperatura de 60°C durante 30 minutos. Os mesmos quantitativos de amostras de emulsões de petróleo foram tratados empregando irradiação micro-ondas durante tempos de exposição de 20 e 30 segundos à potência constante, e este período foi suficiente para amostra atingir 60 °C. Esta temperatura foi mantida constante numa segunda etapa, durante a qual as amostras foram submergidas no banho térmico durante 30 minutos. No final dos ensaios unicamente as amostras submetidas à irradiação apresentaram formação de água livre. A quantidade de água livre formada foi maior para os ensaios onde as amostras foram expostas inicialmente por 30 segundos à irradiação das micro-ondas.

Janney e Kimrey (1991) estudaram a extração de óleos vegetais a partir de resíduos e de culturas oleaginosas usando radiação micro-ondas associada a vapor. Segundo os pesquisadores, esse processo em relação ao processo convencional (uso vapor de água a 130°C para extração do óleo) proporciona maior extração do produto com tempo menor de trabalho, contribuindo também para uma produção mais limpa.

Irradiação micro-ondas foi usada como agente gerador de calor na determinação do teor de umidade de milho. Segundo Valentini e Castro (1991), foram utilizadas amostras de milho com teor de umidade na faixa de 7,33% a 22,28%. Equações de regressão linear foram determinadas correlacionando-se os valores de percentagem de água após secagem no forno micro-ondas e o teor de umidade determinado pelo método de estufa a 105°C por 24 horas. O tempo de permanência do produto no aparelho foi fixado em 45 segundos. Nas condições em que o experimento foi realizado, o aparelho de micro-ondas mostrou ser uma alternativa viável do ponto de vista de custo e tempo para a determinação de umidade de grãos.

Impacto da secagem com micro-ondas sobre o perfil sensorial de amêndoas de noz macadâmia foi estudado por Silva et al. (2006). Nesse estudo foi avaliado o impacto da secagem com micro-ondas sobre o perfil sensorial de amêndoas e comparou-se ao perfil sensorial a secagem convencional. Foi possível concluir que, do ponto de vista sensorial, o uso de micro-ondas é viável, pois conduziu a produto de semelhança ao convencional. A utilização desta forma de energia conduziu a menores tempos de secagem proporcionando menor impacto, principalmente, na rancinificação da noz quando comparado ao produto convencional.

Outra aplicação em nível laboratorial de micro-ondas como agente de aquecimento estudada pelos mesmos pesquisadores Silva et al. (2006) e comparado com aquecimento convencional, foi o condicionamento de carne congelada (aumento da temperatura de -7°C à 4°C para fatiamento, corte e re-embalagem), que apresentou resultados surpreendentes do ponto de vista de economia de energia e tempo de processamento.

O controle da qualidade de forrageiras e da alimentação animal é estratégico para garantir o sucesso da atividade produtiva das cadeias produtivas da carne e do leite. Segundo Souza et al. (2002), o uso de forno de micro-ondas doméstico para determinação

de matéria seca e do teor de umidade em solos e plantas mostra-se como um método alternativo eficiente ao método convencional de secagem de amostras de solo e plantas em estufa. Os resultados das avaliações em laboratório indicam redução de custos nas análises das amostras em 69% quando utilizado o procedimento alternativo, bem como os impactos sociais e ambientais positivos.

O estudo da viabilidade da produção de biodiesel de óleo de frituras utilizando com agente de calor irradiação micro-ondas foi estudado por Leadbeater e Stencil (2006). Nesse processo de transformação de lipídios em biodiesel usando como fonte de calor micro-ondas foi obtida segundo o pesquisador uma conversão de 91% com um tempo reacional de irradiação de 390 segundos, tendo sido a sua conversão determinada por espectroscopia RMN 1H.

A aplicação de irradiação micro-ondas associadas a vapor de água a temperatura de 125°C está sendo usado em processos de extração de óleos essenciais de cascas de frutos. A eficácia deste método inovador na extração de componentes químicos aromatizantes de cítricos, segundo Golmakani e Rezaei, (2008), foram avaliados e comparados com destilação convencional e oferece as seguintes vantagens: menor tempo de extração, produto mais concentrado e melhores propriedades sensoriais.

Na Figura 13 está apresentada uma planta química (esquema do processo) de extração de essência de matéria-prima vegetal adaptada da Figura “esquema de representação de destilação convencional assistida com micro-ondas” que usa vapor de água a baixa pressão e micro-ondas como fonte de aquecimento. Segundo Ferhat et al. (2006), o extrato obtido usando o processo de destilação assistida com micro-ondas com vapor de água, apresentou características sensoriais (aroma e cor) mais acentuadas do que quando do processo de extração convencional (destilação só com vapor de água) e o rendimento do processo de extração com aquecimento duplo (vapor de água de baixa pressão e radiação micro-ondas) foi mais significativo, mostrando assim, mais eficácia e eficiência no processo de extração (destilação) de essências de matérias primas vegetais quando usa-se radiação micro-ondas com vapor de água como fonte de aquecimento.

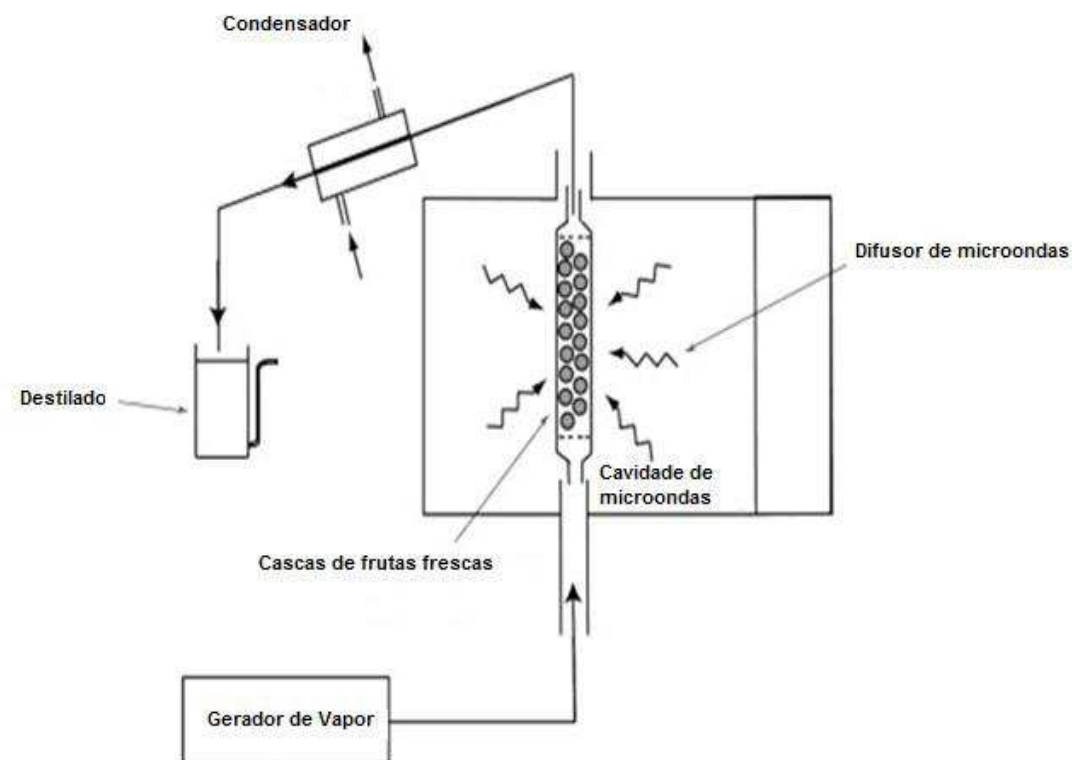


Figura 13 - Planta de extração de essências de frutos assistido por micro-ondas
FONTE: Adaptado de Schematic representation of the microwave assisted Hidrodistillation

A aplicação de micro-ondas com agente gerador de calor está substituindo dia a dia a energia elétrica e o uso de combustível como fonte de calor em laboratórios. Segundo Silva, et al. (2006), é possível a adaptação de forno de micro-ondas doméstico para realização de síntese orgânica a exemplo de reações de transesterificação sob-refluxo na obtenção de biodiesel e de síntese inorgânica como catálises de argilas.

Embora a tecnologia de micro-ondas tenha sido desenvolvida por físicos e engenheiros, primeiro como instrumento de defesa militar (Radar) e depois como uma nova tecnologia de cozinhar alimentos (Forno de Micro-ondas), segundo Silva et al. (2006), foram os químicos os primeiros cientistas a utilizarem esta tecnologia como ferramenta aplicada à pesquisa científica. No laboratório, os químicos começaram a usar os reatores químicos assistidos por micro-ondas para fazer dissolução de compostos, análises elementares e síntese química.

Vários métodos de extração de produtos naturais oriundo de matérias primas agrícolas utilizando à associação do aquecimento a micro-ondas com processo convencional de destilação encontram-se publicadas em literaturas especializadas, principalmente em publicações internacionais. Segundo Click e Baker (1980), são tecnologias desenvolvidas em nível laboratorial e piloto que mostram a viabilidade de se extrair componentes de produtos agrícolas, óleos aromatizantes e comestíveis e com grande aplicação nas indústrias alimentícias, farmacêuticas e cosméticas.

A extração de substâncias voláteis de resíduos industriais líquidos constituídos de multicomponentes, por destilação, utilizando micro-ondas como agente de aquecimento, demanda estudos e não há evidência de teorias e nem de divulgação de experimento que venha subsidiar trabalho científico (SOUZA et al., 2002).

3.14 - Aquecimento dos materiais por micro-ondas

O aquecimento de materiais usando radiação micro-ondas (MO's) como agente de aquecimento envolve conceitos físico-químicos e termodinâmicos como temperatura, capacidade calorífica, ligação química, estrutura molecular, momento de dipolo, polarização, constante dielétrica, estado de excitação, tempo de relaxação, taxa de aquecimento, estado de agregação do material (líquido e sólido) bem como, conceitos advindos da Mecânica Quântica (DE LA HOZ et al., 2005).

Do ponto de vista científico o aquecimento de um material por MO's dar-se em virtude da interação das ondas eletromagnéticas do fóton de micro-ondas com o dipolo elétrico da molécula. O aquecimento de uma substância em um forno de MO's ou num reator químico pode, então, ser entendido como uma analogia do que acontece com as moléculas quando estas são submetidas à ação de um campo elétrico. Quando o campo é aplicado, as moléculas que possuem momento de dipolo elétrico tendem a se alinhar com o campo conforme mostrado na Figura 14. Quando o campo que provocou a orientação dos dipolos moleculares é removido, ocorrerá uma relaxação dielétrica, isto é, as moléculas tenderão a voltar para o estado anterior (menos alinhado), dissipando a energia absorvida na forma de calor (THOSTENSON; CHOU, 1999)

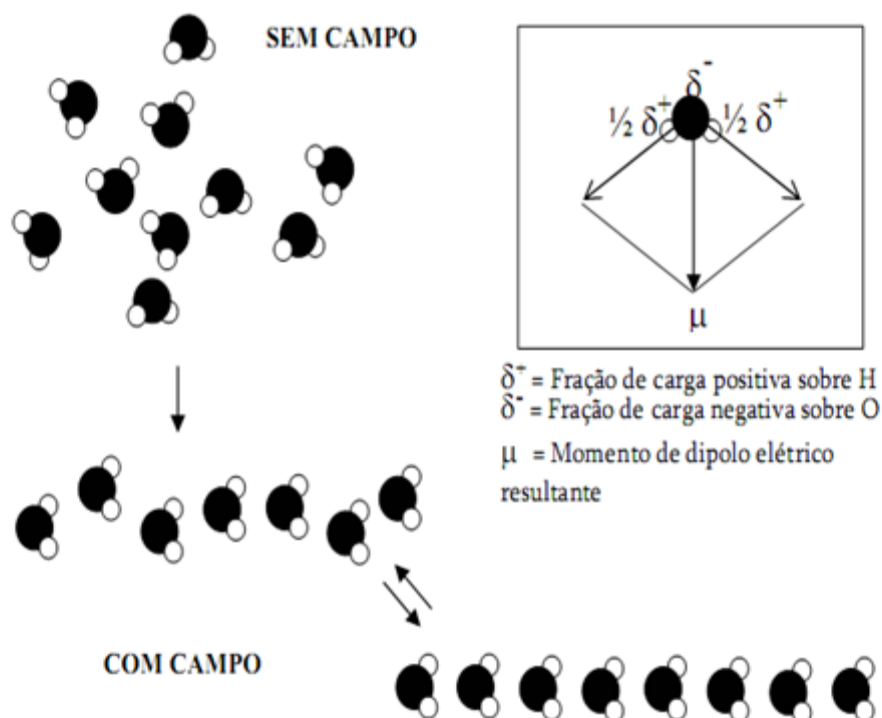


Figura 14 - Ilustração do mecanismo de aquecimento da água por acoplamento e desacoplamento de micro-ondas
 FONTE: THOSTENSON & CHOUT, (1999).

A princípio, quanto maior for o dipolo elétrico, mais intenso deve ser a orientação molecular sob a ação do campo elétrico. Se um material possui maior valor de constante dielétrica (ϵr), então maior quantidade de energia pode, a princípio, ser armazenada. Em um campo que alterna as fases (como em uma onda eletromagnética), a orientação molecular varia ciclicamente e para irradiações na região das MO's (1000 a 10000 MHz) a polarização espacial das moléculas do material leva ao seu aquecimento. O tempo de relaxação requerido para os dipolos reduzirem o ordenamento dependerá fundamentalmente de dois fatores: o tamanho das moléculas e a da viscosidade do meio. Em fase condensada, o tempo de relaxação também dependerá da “altura” da barreira de energia (associada com a interação entre as moléculas) que precisa ser alcançada no processo de reorientação molecular, e haverá na verdade, uma faixa de tempos de relaxação, pois existe certo número de estados de equilíbrio para os dipolos separados por barreiras de potencial de diferentes magnitudes (THOSTENSON; CHOUT, 1999).

Em relação ao aquecimento de uma substância por MO's, pode-se dizer que, se uma amostra possuir uma frequência de relaxação (recíproca do tempo de relaxação) próxima da frequência da onda eletromagnética, então a quantidade de calor produzida será elevada. Em outras palavras, é importante que haja sincronismo entre a frequência de relaxação molecular e do campo eletromagnético (JANNEY ; KIMREY, 1991).

Segundo Janney e Kimrey, (1991) no caso de moléculas que possuem dipolo permanente, a rotação do dipolo gera um campo elétrico que pode interagir com o componente elétrico da MO's. Se há diferença de energia entre o nível fótons de MO's, então pode ocorrer absorção de energia e a molécula é excitada para o outro nível rotacional. Ao irradiar amostra gasosa com MO's, as moléculas absorvem energia alterando a distribuição das moléculas nos diferentes níveis de energia rotacional. A população de moléculas nos níveis excitados aumenta e a energia contida nas moléculas que populam os níveis energéticos mais altos são transferidas para outras moléculas, principalmente por meio de processos colisionais. Assim, ocorre uma distribuição da energia absorvida e a temperatura da substância aumenta. Em fase condensada, as moléculas estão interagindo intensamente umas com as outras, de forma que a rotação molecular deixa de ser livre, isto é, passam a existir barreiras de energias potenciais associadas com as possíveis interações intermoleculares.

Existe, portanto, um grande número de estados de equilíbrio para os dipolos rotacional em que a molécula se encontra. Desta forma não haverá níveis de rotação molecular, mas uma região espectral onde ocorre excitação por MO's. No caso do estado sólido, as moléculas no cristal possuem menor grau de liberdade para mudar suas orientações, impedindo a rotação molecular, sendo por esta razão que o gelo não absorve significativamente energia na região de MO's. O calor gerado quando se aplica as radiações micro-ondas em substância polares é devido aos ciclos de oscilações moleculares da ordem de 1,45 Giga/segundo com armazenamento de energia e quando do relaxamento das moléculas, ou seja, a volta a posição inicial, a energia absorvida do fóton é dissipada na forma de calor (FORUN et al., 2008).

3.15 - Efeitos da radiação micro-ondas em processos físico-químicos

As primeiras aplicações de micro-ondas para gerar calor se deram no campo das análises químicas principalmente na preparação de amostras para ensaios em laboratório.

A preparação de amostra constitui-se em uma etapa crítica e determinante da velocidade de uma análise química. A necessidade de se preparar muitas amostras usando o aquecimento como auxiliar na digestão, levou os pesquisadores a projetar autoclave a micro-ondas, obtendo-se assim, tempos de redução de análise e alto grau de eficiência do processo de preparação de amostra. Segundo Kingston e Jassie, (1988) o grande diferencial econômico e de tempo na preparação de amostras com micro-ondas é devido principalmente às altas temperaturas que são geradas pelo atrito entre átomos e moléculas das amostras em recipientes vedados. Sob tais condições, a pressão no interior do recipiente aumenta à medida que o solvente se torna mais volátil. Esse efeito de panela-de-pressão leva a um aumento de temperatura no recipiente, o que aumenta a dissolução das espécies biológicas e minerais.

Os inesperados resultados obtidos pela preparação de amostras por micro-ondas em recipientes fechados levaram ao estudo de reações químicas endotérmicas, primeiro orgânica e depois inorgânica, nos mesmos recipientes ou em recipientes similares. O único fator que impede uma abrangência maior dessa abordagem está no fato de que as altas temperaturas podem favorecer a decomposição do produto ou favorecimento da espécie termodinamicamente mais estável em detrimento do produto controlado cineticamente (KINGSTON; JASSIE, 1988).

3.16 - Destilação de etanol por micro-ondas

O trabalho (determinação de etanol com um destilador de contato para sistema de injeção em fluxo com micro-ondas focalizado na bobina reacional) que mostra a atuação de micro-ondas como agente de aquecimento num sistema em que há caracterização de uma destilação, foi desenvolvido por um Grupo de Química Analítica, do Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, da UFSCar (Universidade Federal de São Carlos). A pesquisa mostra a potencialidade deste novo perfil de escoamento em sistemas de injeção em fluxo onde foi introduzido um forno micro-ondas Panasonic, modelo NN5556B, com cavidade de 22 litros e magnetron emitindo a 2,54 GHz com uma potência nominal de 700 W para a determinação de etanol em meio fermentativo. A câmara de destilação foi construída em acrílico e é composta por uma câmara de expansão, onde a fase líquida e o vapor são separados, e a fase vapor conduzida por um canal e condensa - se

ao entrar em contato com um leito de reagente que é bombeado continuamente (OLIVEIRA et al., 1999). Diferentemente do destilador de etanol a micro-ondas proposto, em que a solução (mistura de resíduos) a destilar, é introduzida em um reservatório feito de resina sintética teflon (polietileno tereftalato) transparente a micro-ondas, tendo o sistema um dispositivo eletrônico (programador/controlador) para controle de temperatura de aquecimento, taxa de aquecimento do processo de destilação, comando para definir a temperatura máxima de trabalho, comando de definição do patamar de tempo de espera pós-destilação e sistema de esgotamento dos resíduos, além de um sistema de condensação para condensar o etanol extraído.

A extração de etanol de misturas hidroalcoólicas e de resíduos líquidos que contenham em sua composição etanol, utilizando radiação micro-ondas como agente de aquecimento é um processo que demanda estudos, e que nas literaturas especializadas (livros, revistas, periódicos nacionais e internacionais), artigos, dissertação e teses que tratam de destilação alcoólica não há evidencia de teorias e nem de divulgação de experimento que venham subsidiar trabalho científico.

3.17 - Aplicação industrial de micro-ondas

A aplicação industrial das micro-ondas remonta aos primórdios da utilização de micro-ondas quando era vista apenas como uma alternativa para aquecimento de materiais. Porém com os trabalhos pioneiros de Gedby e Smith (1988), a aplicação de radiação micro-ondas ganhou um novo e importante enfoque: a aceleração de reações químicas. Este é, atualmente, um dos ramos da ciência que apresenta grande evolução e oportunidades de estudo e aplicação comercial e é denominado de "química incentivada por micro-ondas" ou "sínteses incentivadas por micro-ondas". Projetos de reatores químicos devem satisfazer simultaneamente as necessidades cinéticas da reação e as de absorção de micro-ondas. Os reatores atualmente chamados de aplicadores de micro-ondas são equipamentos que permitem otimizar a transferência de energia de micro-ondas de um gerador para o material em processamento com o melhor rendimento possível do consumo de energia. Neste contexto, é possível concluir que em nível industrial o maior desafio é a construção de equipamentos adequados para irradiação de micro-ondas sob condições controladas (frequência, potência de irradiação, temperatura e taxa de aquecimento).

4 - MATERIAIS E MÉTODOS

No presente capítulo estão descritas todas as metodologias empregadas no desenvolvimento deste trabalho, como: caracterização físico-química e física dos resíduos (cabeça e cauda), preparação das misturas dos resíduos para a extração do etanol por destilação, as cinéticas dos processos destilatórios convencional e assistido por micro-ondas, a caracterização do etanol líquido extraído dos resíduos e do etanol gel produzido, os processos de preparação do etanol gel usando etanol obtido por destilação convencional e destilação assistida por micro-ondas, o estudo comparativo do custo benefício dos processos e identificação do consumo de energia em ambos microdestiladores.

Para um melhor entendimento metodológico de todo o desenvolvimento da pesquisa, dividiu-se este capítulo em 13 itens: 1 - local de realização dos ensaios experimentais, 2 - matérias-primas, 3 - fluxograma do processo de obtenção do etanol gel usando o álcool extraído dos resíduos 4 - caracterização dos resíduos, 5 - Definição dos parâmetros de preparação das misturas (cabeça e cauda), 6 - Processos de destilação das misturas (cabeça e cauda) por destilação convencional, 7 - Desenvolvimento do microdestilador de etanol assistido por micro-ondas, 8 - Destilação dos resíduos no microdestilador assistida por micro-ondas, 9 - características do etanol líquido (destilado) obtido dos resíduos por microdestilação convencional e microdestilação assistida por micro-ondas, 10 - Processo de obtenção de etanol gel antisséptico, 11 - caracterização do etanol gel antisséptico, 12 - Custo/benefício do processo de obtenção de etanol gel oriundo do resíduos, 13 - método para mensuração do consumo de energia elétrica em ambos destiladores.

4.1 - Local de realização dos ensaios experimentais

A pesquisa experimental foi desenvolvida no Laboratório Piloto de Química Industrial (LAPQ), do Departamento de Engenharia Química, do Centro de Tecnologia, da Universidade Federal da Paraíba na cidade de João Pessoa.

A vista frontal do Laboratório Piloto de Química Industrial (LAPQ) pode ser observada na Figura 15.

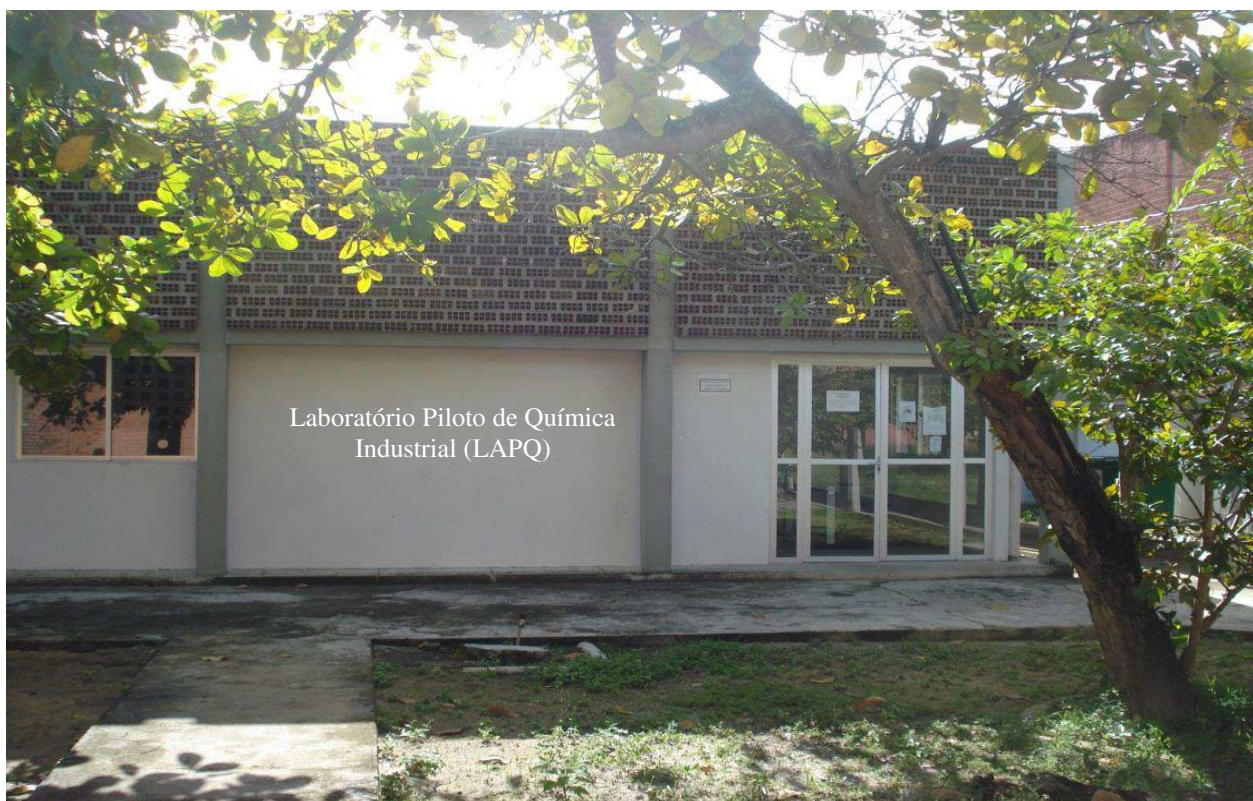


Figura 15 - Laboratório Piloto de Química Industrial (LAPQ)
FONTE: UFPB / Centro de Tecnologia

4.2 - Matérias-primas

As principais matérias-primas para obtenção do etanol gel antisséptico a partir dos resíduos, foram os resíduos (cabeça e cauda), primeira e terceira fração extraída do processo de destilação da cachaça, coletados em bombonas de polietileno capacidade de 10 litros à saída do sistema de destilação (alambique) do engenho Triunfo localizado no município de Areia do estado da Paraíba, dos quais foram álcool neutro. As demais matérias-primas (carbopol, trietanolamina e glicerina) foram adquiridas no mercado fornecedor de produtos químicos. A água deionizada coletada no Laboratório Piloto de Química Industrial (LAPQ) localizado no Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba. Para preparação do etanol gel tradicional que comparamos suas propriedades (especificações) com o etanol gel dos resíduos, usamos o etanol líquido neutro fabricado em destilaria de álcool.

Na Tabela 3 estão apresentadas todas as matérias-primas para obtenção do etanol gel antisséptico a partir dos resíduos (cabeça e cauda).

Tabela 3 - Matérias - primas para obtenção de etanol gel antissépticos a partir dos resíduos (cabeça e cauda)

Matéria-prima	Função
Etanol líquido extraído dos resíduos com °GL > 76	Antisséptico
Carbopol 676 (resina acrílica)	Espessante
Água deionizada	Diluyente
Trietanolamina (base inorgânica)	Regulador de pH
Glicerina bidestilada	Emoliente

4.3 - Fluxograma do processo de obtenção do etanol gel antisséptico dos resíduos (cabeça e cauda)

Os resíduos (cabeça e cauda) inicialmente foram caracterizados para se ter a identificação dos quantitativos dos teores alcoólicos e dos demais componentes químicos. Para estes ensaios foram usados alcoômetros Gay Lussac, ebuliômetro e cromatógrafo a gás com detector de ionização de chama.

A etapa seguinte do processo consiste em se preparar as misturas dos resíduos (cabeça e cauda), em proporções de 1:1 com graduação alcoólica de: 40°GL, 42,5°GL, 45°GL, 47,5°GL e 50°GL. A extração do etanol líquido contido nos resíduos foi realizada em dois destiladores distintos: microdestilador de etanol convencional marca TECNAL e microdestilador assistido por micro-ondas desenvolvido no LAPQ.

O processo de obtenção do álcool gel antisséptico consistiu nas seguintes etapas: adição de carbopol 676 ($C_3H_4O_2$)_n lentamente ao etanol líquido (CH_3CH_2OH) em alta agitação (800 rpm) durante 25 minutos para sua total dispersão, adição do diluyente (água deionizada), alcalinização da mistura com trietanolamina ($C_6H_{15}NO_3$) em média agitação (100 rpm) e a adição do umectante glicerina ($CH_2OH-CHOH-CH_2OH$) em baixa rotação (50 rpm) por 3 minutos. As quantidades dos componentes foram pré-definidas por meio de estudo experimental de montagem de formulação de etanol gel, usando álcool líquido obtidos no microdestilador convencional e assistido por micro-ondas respectivamente.

Para definição das formulações e dos procedimentos de preparação do etanol gel usando álcool líquido neutro obtido dos resíduos, foram desenvolvidos inicialmente vários experimentos destilatórios no microdestilador de etanol convencional e posteriormente no destilador desenvolvido (microdestilador de etanol assistido por micro-ondas) usando as misturas dos resíduos, sendo que, a graduação alcoólica máxima obtida para o etanol líquido em ambos os microdestiladores foram (85°GL e 80°GL) respectivamente. A Tabela 4 apresenta as formulações de obtenção de álcool gel antisséptico a partir de etanol líquido dos resíduos, tendo como referência a formulação de etanol gel tradicional.

Tabela 4 - Formulações de etanol gel antisséptico usando etanol líquido a 85°GL e 80°GL extraído dos resíduos (cabeça e cauda)

Formula 1		Formula 2	
Componente	Quantidade (%)	Componente	Quantidade (%)
Etanol a 85°GL	90	Etanol a 80°GL	96
Carbopol 676	0,67	Carbopol 676	0,69
Água deionizada	9,05	Água deionizada	3,03
Trietanolamina	0,15	Trietanolamina	0,15
Glicerina bidestilada	0,13	Glicerina bidestilada	0,13

O método para se obter as formulações de preparação de etanol gel antisséptico, usando álcool a 85°GL e 80°GL, foi desenvolvido tendo como referência a formulação do etanol gel tradicional comercializado no mercado, mas, com ajuste das formulações por procedimentos empíricos.

O desenvolvimento dos processos de obtenção do etanol gel antisséptico com etanol neutro obtido a partir dos resíduos (cabeça e cauda) usando destilação convencional e destilação assistida por micro-ondas, está representado na forma de fluxograma na Figura 16, considerando as seguintes etapas: caracterização dos resíduos, preparação das misturas dos resíduos com concentração alcoólica variando de 40°GL a 50°GL em intervalo de 2,5°GL, extração do etanol neutro dos resíduos (destilações), caracterização do etanol neutro destilado, preparação e caracterização do etanol gel antisséptico.

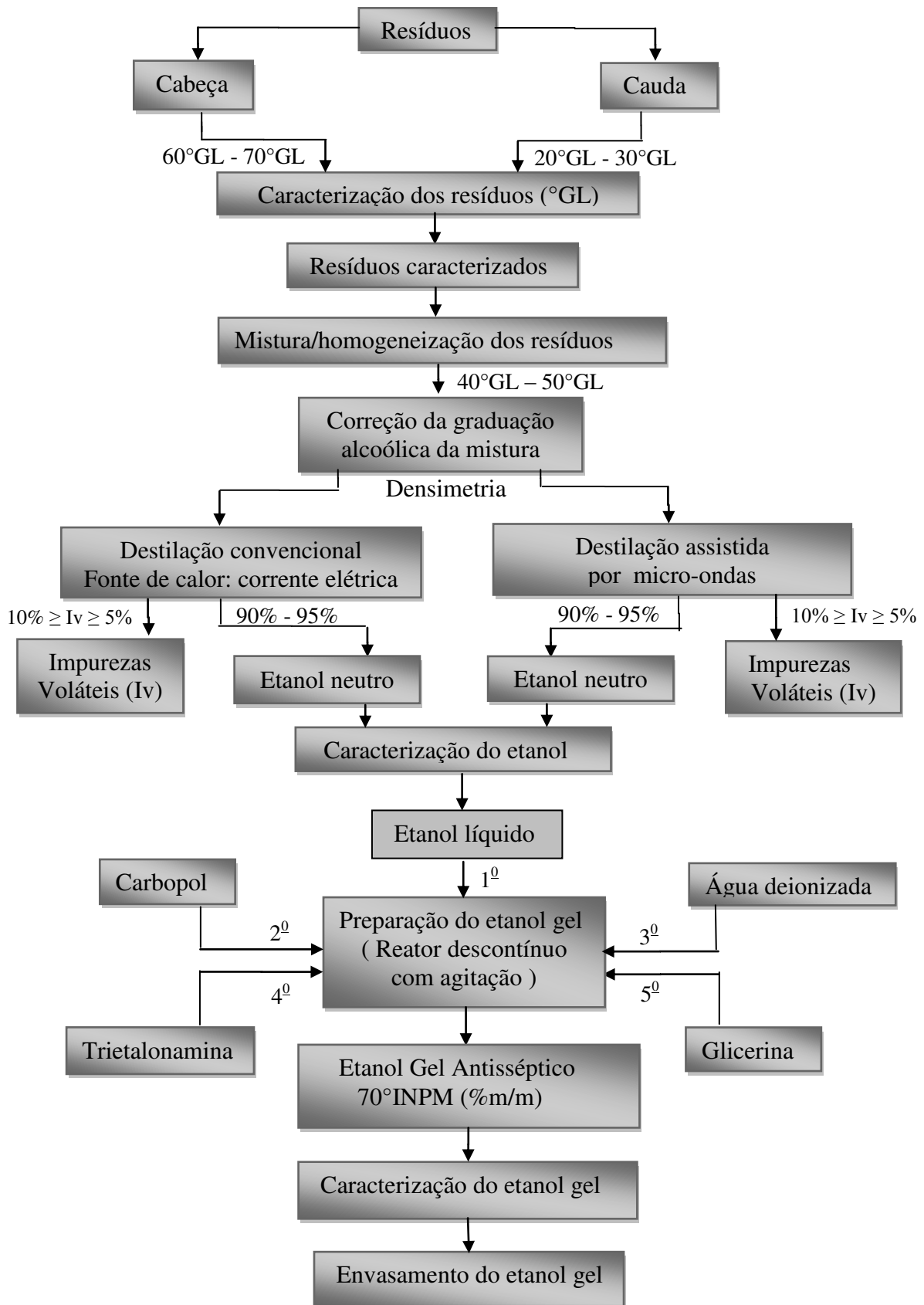


Figura 16 - Fluxograma do processo de obtenção de etanol gel a partir dos resíduos

4.4 - Caracterização físico-química e física dos resíduos (cabeça e cauda)

A caracterização dos resíduos (cabeça e cauda), para este trabalho, oferece parâmetros para se mensurar os quantitativos de componentes não desejáveis no etanol líquido neutro que se pretende extrair pelos dois processos de destilação. Inicialmente foram feitas as caracterizações alcoólicas dos resíduos usando um alcoômetro Gay Lussac, Figura 17, calibrado a temperatura de 20°C e um ebuliômetro, Figura 18. Os componentes químicos com pontos de ebulição maior e menor do que o etanol foram identificados num cromatógrafo a gás marca VARIANT com detector de ionização de chama calibrado, Figura 19. Os ensaios foram realizados em triplicata usando cabeça com 70°GL, 65°GL e 60°GL e cauda com 30°GL, 25°GL e 20°GL.



Figura 17 - Alcoômetro Gay Lussac



Figura 18 - Ebuliômetro Dujardin

FONTE: Laboratório Piloto de Química Industrial (2013)



Figura 19 - Cromatógrafo a gás com ionização de chama

FONTE: GRAMAME INDÚSTRIA DE ÁLCOOL (2012)

4.4.1 - Caracterização físico-química dos resíduos

4.4.1.1 - Teor alcoólico (°GL)

O teor de álcool (etanol) expresso em °GL (% v/v) nos resíduos e em suas misturas (cabeça e cauda) foram determinados por alcoometria e ebuliometria em triplicata de acordo com as normas analíticas (MASSON, 2005).

4.4.1.2 - Ésteres expressos em acetatos de etila

O teor de ésteres expressos em acetato de etila nos resíduos foi determinado em triplicata através de método cromatográfico (MASSON, 2005).

4.4.1.3 - Aldeído acético

O teor de aldeídos expressos em aldeído acético nos resíduos foi determinado em triplicata através do método cromatográfico (MASSON, 2005).

4.4.1.4 - Alcoois superiores

O teor de alcoois superiores (álcool isoamílico, álcool isopropílico e álcool isobutílico) nos resíduos foi determinado em triplicata através do método cromatográfico (MASSON, 2005).

4.4.1.5 - Metanol

O álcool metílico (metanol) nos resíduos (cabeça e cauda) foi determinado em triplicata através do método cromatográfico de acordo com as normas analíticas (MASSON, 2005).

4.4.1.6 - Acidez acética

A acidez acética nos resíduos expressa em ácido acético foi determinado em triplicata de acordo com as normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz BRASIL (2005).

4.4.1.7 - pH (potencial hidrogeniônico)

O pH dos resíduos foram determinado pelo método potenciométrico (medidor de pH) , marca TECNAL, modelo TEC-2, previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0 e os resultados foram expressos em unidade de pH.

4.5 - Caracterização física dos resíduos (cabeça e cauda)

A caracterização física dos resíduos foram feitas usando metodologia citada em literatura especializada pelo “Instituto Adolfo Lutz BRASIL (2005)”, densimetria e método sensorial.

4.5.1- Densidade

As densidades dos resíduos foram determinadas em triplicata, utilizando um densímetro de vidro marca UNILAB aferido a temperatura de 20°C

4.5.2 - Aspectos

Os aspectos (limpidez e turvação) dos resíduos foram determinados pelo método visual.

4.5.3 - Aroma

Nos resíduos e no etanol líquido obtido por destilação, o método sensorial usado foi o olfativo.

4.6 - Definição dos parâmetros de preparação das misturas (cabeça e cauda) a destilar no microdestilador de etanol convencional e assistido por micro-ondas

Na preparação das misturas dos resíduos (cabeça e cauda) a destilar, para obtenção de etanol líquido, em ambos destiladores (convencional e assistido por micro-ondas), foram usados proporções iguais (1:1) em volume de resíduos. A definição desta proporção deve-se ao fato de que, na fabricação de cachaça se extrair quantidades iguais de resíduos (10% - cauda e 10% - cabeça) com graduações alcoólicas de (60°GL, 65°GL e 70°GL) e (20°GL, 25°GL e 30°GL) respectivamente para cabeça e cauda (CARDOSO, 2001).

Na Tabela 5 estão apresentados os teores alcoólicos em °GL dos resíduos (cabeça e cauda) coletados no engenho Triunfo e de suas misturas (M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆, M₇, M₈ e M₉) preparadas em proporção de 1: 1 de resíduos, usando metodologia de diluição com comprovação da graduação alcoólica com densímetro Gay Lussac e ebuliômetro Dujardin Salleron.

Na preparação das misturas dos resíduos com cabeça a 60°GL, 65°GL e 70°GL e cauda com 20°GL, 25°GL e 30°GL, fixou-se as quantidades (1:1) de resíduos com a graduação da cauda constante em 20°GL, 25°GL e 30°GL para cada concentração alcoólica de cabeça. Para proporcionar maior confiabilidade e precisão no processo de preparação das misturas dos resíduos, vários instrumentos analíticos e equações para cálculo de diluições foram usados.

Tabela 5 - Teores alcoólicos dos resíduos e de suas misturas em proporção (1:1)

Cabeça (Teor alcoólico em °GL)	Cauda (Teor alcoólico em °GL)	Mistura (cabeça e cauda) (Teor alcoólico em °GL)
60°GL	20°GL	(M1): 40°GL
65°GL	20°GL	(M2): 42,5°GL
70°GL	20°GL	(M3): 45°GL
60°GL	25°GL	(M4): 42,5°GL
65°GL	25°GL	(M5): 45°GL
70°GL	25°GL	(M6): 47,5°GL
60°GL	30°GL	(M7): 45°GL
65°GL	30°GL	(M8): 47,5°GL
70°GL	30°GL	(M9): 50°GL

As definições das concentrações das misturas dos resíduos a partir de 40°GL até 50°GL em intervalos de 2,5°GL, usando cabeça com concentração alcoólica de 60°GL, 65°GL e 70°GL e cauda com 20°GL, 25°GL e 30°GL, foram estabelecidas para se obter total aproveitamento dos resíduos gerados na fabricação de cachaça, menor custo e maior representatividade em termos de processo operacional. Observa-se na Tabela 5 que as misturas M2 e M4, M3 e M5 e M7, M6 e M8 apresentam concentrações alcoólicas iguais, ou seja, $M_2 = M_4$ (42,5°GL), $M_3 = M_5 = M_7$ (45°GL) e $M_6 = M_8$ (47,5°GL), portanto, dos nove tipos de misturas preparadas com os resíduos restaram cinco tipos de misturas com graduação alcoólicas diferentes (M1, M2, M3, M4 e M5) que denominamos a partir destes experimentos para fins de destilação de (Mr1, Mr2, Mr3, Mr4 e Mr5) com graduações alcoólicas de 40°GL, 42,5°GL, 45°GL, 47,5°GL e 50°GL respectivamente.

A Figura 20 apresenta um dos procedimentos padrão de preparação de misturas de resíduos (cabeça e cauda) usando proporções iguais em volume (1:1). As preparações das misturas Mr1, Mr2, Mr3, Mr4 e Mr5 foram realizadas com comprovação das graduações alcoólicas usando alcoômetro Gay Lussac.

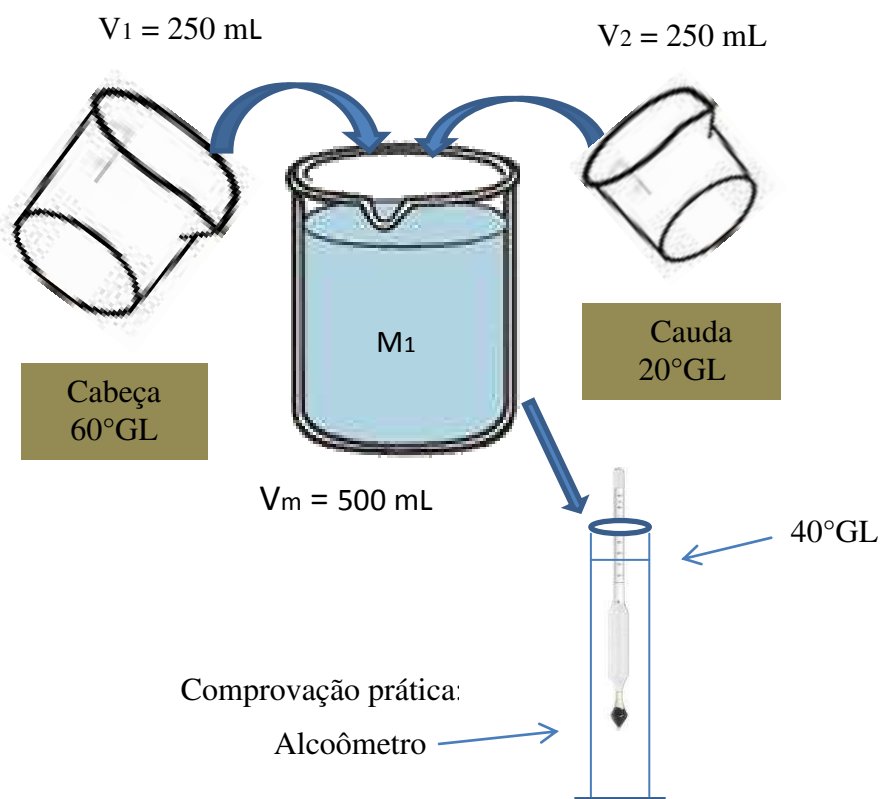


Figura 20 - Esquema de preparação das misturas (cabeça e cauda) a 40°GL

Os quantitativos de volume de mistura (cabeça e cauda) e suas concentrações foram determinados usando as seguintes equações:

$$V_m = V_{cb} + V_{cd} \quad (4.1)$$

$$V_m \times \text{°GL}_m = V_{cb} \times \text{°GL}_{cb} + V_{cd} \times \text{°GL}_{cd} \quad (4.2)$$

$$\text{GL}_m = \{ (V_{cb} \times \text{°GL}_{cb}) + (V_{cd} \times \text{°GL}_{cd}) \} / V_m \quad (4.3)$$

Onde, V_m o volume de mistura, V_{cb} o volume de cabeça, V_{cd} o volume de cauda, °GL_m o grau alcoólico da mistura, °GL_{cb} o grau alcoólico da cabeça e °GL_{cd} o grau alcoólico da cauda.

4.6.1- Preparação das misturas (cabeça e cauda)

Os procedimentos de preparação das misturas (cabeça e cauda) em proporções iguais de (1:1) e as definições de suas concentrações para posterior destilação no microdestilador de etanol convencional e microdestilador de etanol assistido por micro-ondas, foram desenvolvidos no Laboratório Piloto de Química Industrial (LAPQ) usando equações matemáticas tradicionais (4.1, 4.2 e 4.3), vidrarias graduadas e instrumentos analíticos usados na determinação de graduação alcoólica (alcoômetro e ebuliômetro) para comprovação dos resultados.

4.6.2 - Verificação prática dos teores alcoólicos das misturas

As determinações práticas dos teores alcoólicos das misturas foram realizadas em triplicata, usando alcoômetro centesimal Gay Lussac aferido a 20°C e o ebuliômetro Dujardim Salleron, Figuras 17 e 18.

4.7 - Destilação das misturas (cabeça e cauda) no microdestilador de etanol convencional e assistido por micro-ondas para obter etanol neutro

Nos microdestiladores de etanol convencional e o assistido por micro-ondas foram realizados vários ensaios de destilação por mistura, alimentando-se amostras de 42 mL e 550 mL, respectivamente no microdestilador convencional e assistido por micro-ondas, com graduação alcoólica de 40°GL, 42,5°GL, 45°GL, 47,5°GL e 50°GL para se extrair etanol líquido, suficiente à preparação do álcool gel e, calculadas médias referentes aos seguintes parâmetros cinéticos: graduação alcoólica dos destilados, tempo de destilação e rendimento da destilação.

Após a definição da quantidade mínima de etanol (150 mL) que deveria ser destilado para se preparar etanol gel, ficou definido que no microdestilador de etanol convencional capacidade máxima de alimentação 42 ml de mistura, deveriam ser realizados no mínimo dez ensaios por amostra de 40°GL, 42,5°GL, 45°GL, 47,5°GL e 50°GL e misturados os destilados obtidos, e no microdestilador de etanol assistido por micro-ondas capacidade de 900 mL, cinco ensaios por amostra de 550 mL que seriam o suficiente para obtenção de etanol neutro, sendo também, misturados os destilados obtidos.

4.7.1 - Destilação das misturas no microdestilador de etanol convencional

O equipamento usado inicialmente para a destilação das misturas foi o microdestilador de etanol convencional, fabricado pela empresa TECNAL e neste foram realizados vários experimentos de destilação, fixando temperaturas de aquecimento (90°C, 92°C, 94°C, 96°C, 98°C, 99°C e 100°C). Definida a temperatura ideal (99°C) de aquecimento em função de resultados de rendimento de destilação e, para se ter uma interpretação mais apurada das cinéticas dos processos de destilatórios, foram calculadas médias dos resultados de graduação alcoólica do destilado, tempo de destilação e rendimento do processo. O rendimento dos processos de destilação é determinado pela seguinte equação:

$$Rd = (Vn \times \text{°GLn}) / Va \times \text{°GLa} \times 0,96 \quad (4.4)$$

Onde, Vn é o volume de etanol neutro destilado, °GLn o grau alcoólico do etanol neutro, Va o volume da amostra, °GLa o grau alcoólico da amostra e a constante 0,96 corresponde ao fator de azeotropismo.

Para extração do etanol líquido dos resíduos (cabeça e cauda) duas metodologias foram definidas, o método de destilação convencional utilizando microdestilador de etanol de vidro em nível laboratorial tendo energia elétrica como fonte de aquecimento e um novo método de destilação assistido por micro-ondas que demandou o desenvolvimento de um microdestilador de etanol tendo como fonte de calor radiação micro-ondas. A Figura 21 apresenta o microdestilador de etanol convencional marca TECNAL, usado nas destilações das misturas (Mr_1 , Mr_2 , Mr_3 , Mr_4 e M_5) para extração do etanol líquido neutro dos resíduos.

Para obtenção do etanol líquido neutro (etanol com baixo teor de impurezas) a partir dos resíduos, etanol recomendado pela ANVISA à preparação de álcool gel, em ambos microdestiladores, foram definidos dois procedimentos de extração de impurezas voláteis (Iv) quando da destilação dos resíduos, o método usado em nível industrial (hidroseleção) e o de extração de cabeça. Como não foi possível aplicar o método de hidroseleção em nível laboratorial, foi usado o método de extração de impurezas por remoção de cabeça, ou seja, retirada de $10\% \geq Iv \geq 5\%$ relativo à quantidade de destilado.

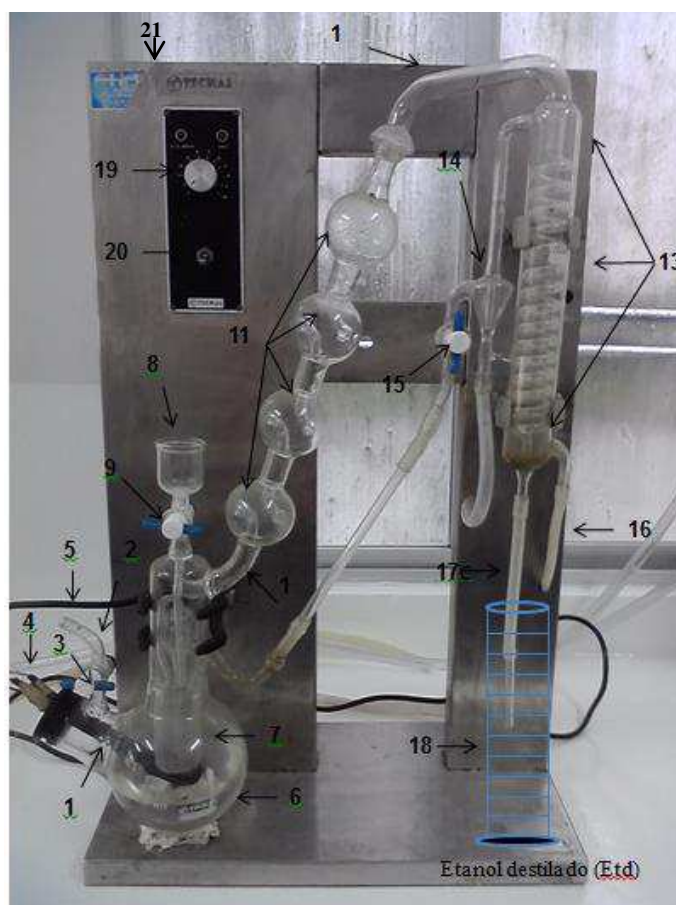


Figura 21 - Microdestilador de etanol convencional

Descrição do microdestilador de etanol convencional

- | | |
|--|--|
| 1 - Fonte de calor (resistência elétrica) | 12 - Tubo de condução de vapores hidroalcoólicos destilados |
| 2 - Tubo de alimentação de água para caldeira do microdestilador | 13 - condensador de serpentina |
| 3 - Registro de alimentação de água para caldeira | 14 - Sistema coletor de água de refrigeração e gerador de vácuo |
| 4 - Tubo de saída de água do condensador | 15 - Registro para esgotamento dos resíduos da destilação |
| 5 - Fio de alimentação de energia para resistência | 16 - Tubo de entrada de água fria para refrigeração do condensador |
| 6 - Caldeira do microdestilador (produção de vapor) | 17 - Tubo de saída do produto destilado |
| 7 - Reservatório de produto a destilar | 18 - Proveta coletora do destilado |
| 8 - Cubeta de alimentação de produto a destilar | 19 - controlador de temperatura |
| 9 - Registro de alimentação de produto a destilar | 20 - Chave liga desliga do microdestilador |
| 10 - Tubo de alimentação de vapores hidroalcoólicos | 21 - Estrutura metálica (base do microdestilador) |
| 11 - Coluna de destilação com 4 estágios | |

No microdestilador de etanol convencional e no assistido por micro-ondas foram desenvolvidos os processo destilatório das misturas Mr₁, Mr₂, Mr₃, Mr₄ e Mr₅ mantendo-se a temperatura de aquecimento em 99°C e pressão de vapor de 0,998 kgf/cm².

Os parâmetros físicos e físico-químicos, definidos para cada processo de destilação foram: volume de amostra, grau alcoólico da amostra, temperatura do processo, número de destilações por mistura, extração de impurezas voláteis do destilado em 5% relativo à quantidade de destilado e volume do destilado em função do grau alcoólico da mistura.

O volume de etanol neutro a ser destilado e o volume de impurezas a ser extraída, como primeira fração do destilado, foram determinados pelas seguintes equações:

$$V_e = V_m \times \text{°GL}_m (1 - I_p) \times 0,96 \quad (4.5)$$

$$V_i = V_e \times 0,05 \quad (4.6)$$

Onde, V_e corresponde ao volume de etanol destilado, V_m ao volume da mistura a destilar, °GL o grau alcoólico da mistura, I_p a porcentagem de impurezas voláteis à extrair, 0,96 é o fator de azeotropismo da mistura hidroalcoólica, V_i o volume de impurezas e 0,05 (5%).

4.7.1.1 - Controle operacional do processo de destilação convencional

O Procedimento operacional usado nos processos de destilações das misturas (Mr₁, Mr₂, Mr₃, Mr₄ e Mr₅), no microdestilador de etanol convencional para obtenção de etanol líquido, está descrito a seguir:

1. Adicionar água potável até o nível máximo na caldeira do microdestilador;
2. Manter o nível de água da caldeira do microdestilador para cada bateria de ensaios;
3. Estabelecer o tempo de alimentação da amostra no sistema de destilação;
4. Definir a temperatura de trabalho (destilação);
5. Manter constante a temperatura de aquecimento da caldeira do microdestilador;
6. Verificar se todos os registros (válvulas) estão fechados;
7. Ligar a chave de fornecimento de energia para aquecer a resistência elétrica;

8. Alimentar o reservatório (cubeta) do microdestilador com 42 mL de amostra;
9. Abrir o registro de água para o condensador quando a temperatura atingir 50°C;
10. Manter a temperatura da água de refrigeração no condensador constante;
11. Proceder à destilação até a coleta total do volume de impureza e destilado (etanol);
12. Coletar exatamente o volume de impurezas e do etanol destilado que foi calculado;
13. Verificar o tempo de destilação do etanol com um cronômetro;
14. Desligar a chave de energia;
15. Determinar o grau alcoólico (°GL) do destilado;
16. Abrir o registro de refluxo depois de retirada do etanol destilado para remoção dos resíduos do reservatório por um tempo de 20 segundos;
17. Determinar o rendimento do sistema de destilação.

Ao término de cada processo de destilação de mistura (cabeça e cauda) no microdestilador de etanol convencional, foi feita uma destilação com água no equipamento, para remover o etanol residual.

4.7.1.2 - Determinação dos dados de entrada para o processo de destilação das misturas (cabeça e cauda) usando microdestilador de etanol convencional

Os processos de destilação das misturas (Mr₁, Mr₂, Mr₃, Mr₄ e Mr₅) foram realizados no microdestilador de etanol convencional marca TECNAL de propriedade do Laboratório Piloto de Química (LAPQ), localizado no Centro de Tecnologia da UFPB, cuja capacidade de alimentação de amostra é de 42 mL por cada ensaio.

Na Tabela 6, estão apresentados os dados de entrada para o desenvolvimento dos processos destilatórios no microdestilador de etanol convencional referentes aos dez ensaios das misturas (Mr₁, Mr₂, Mr₃, Mr₄ e Mr₅).

O volume de etanol neutro destilado e o volume de impurezas (substâncias voláteis indesejáveis e contaminantes ao etanol neutro líquido) referentes na Tabela 6, foram determinados usando as Equações 4.5 e 4.6, desenvolvidas durante os vários experimentos de destilação.

Tabela 6 - Dados de entrada para o desenvolvimento do processo de destilação das misturas (Mr1, Mr2, Mr3, Mr4 e Mr5) usando microdestilador de etanol convencional

Mistura	Volume	Grau Alcoólico	Temperatura de aquecimento	Extração de impurezas	Volume do destilado
Mr1	42 ml	40°GL	99°C	5% (0,84 mL)	15,9 mL
Mr2	42 mL	42,5°GL	99°C	5% (0,89 mL)	16,9 mL
Mr3	42 mL	45°GL	99°C	5% (0,94 mL)	17,9 mL
Mr4	42 mL	47,5°GL	99°C	5% (0,99 mL)	18,9 mL
Mr5	42 mL	50°GL	99°C	5% (1,05 mL)	20 mL

Os destilados obtidos de cada mistura foram coletados em uma proveta com capacidade de 50 mL graduada e em seguida determinados os teores alcoólicos por densimetria. Na determinação por densimetria usou-se um alcoômetro centesimal Gay Lussac apresentado na Figura 17, os demais componentes voláteis foram determinados num cromatógrafo com detector de ionização de chama mostrado na Figura 19.

4.7.2 - Desenvolvimento do microdestilador de etanol assistido por micro-ondas para extração de álcool etílico dos resíduos (cabeça e cauda)

A Figura 22 apresenta o microdestilador de etanol assistido por micro-ondas com os nomes dos seus componentes, que opera em regime de batelada, de propriedade do Laboratório Piloto de Química Industrial (LAPQ) / Centro de Tecnologia / UFPB, projetado, desenvolvido e confeccionado durante o ano de 2012 para o desenvolvimento dos ensaios de destilação das misturas cabeça e cauda (Mr1, Mr2, Mr3, Mr4 e Mr5) do presente trabalho de pesquisa.

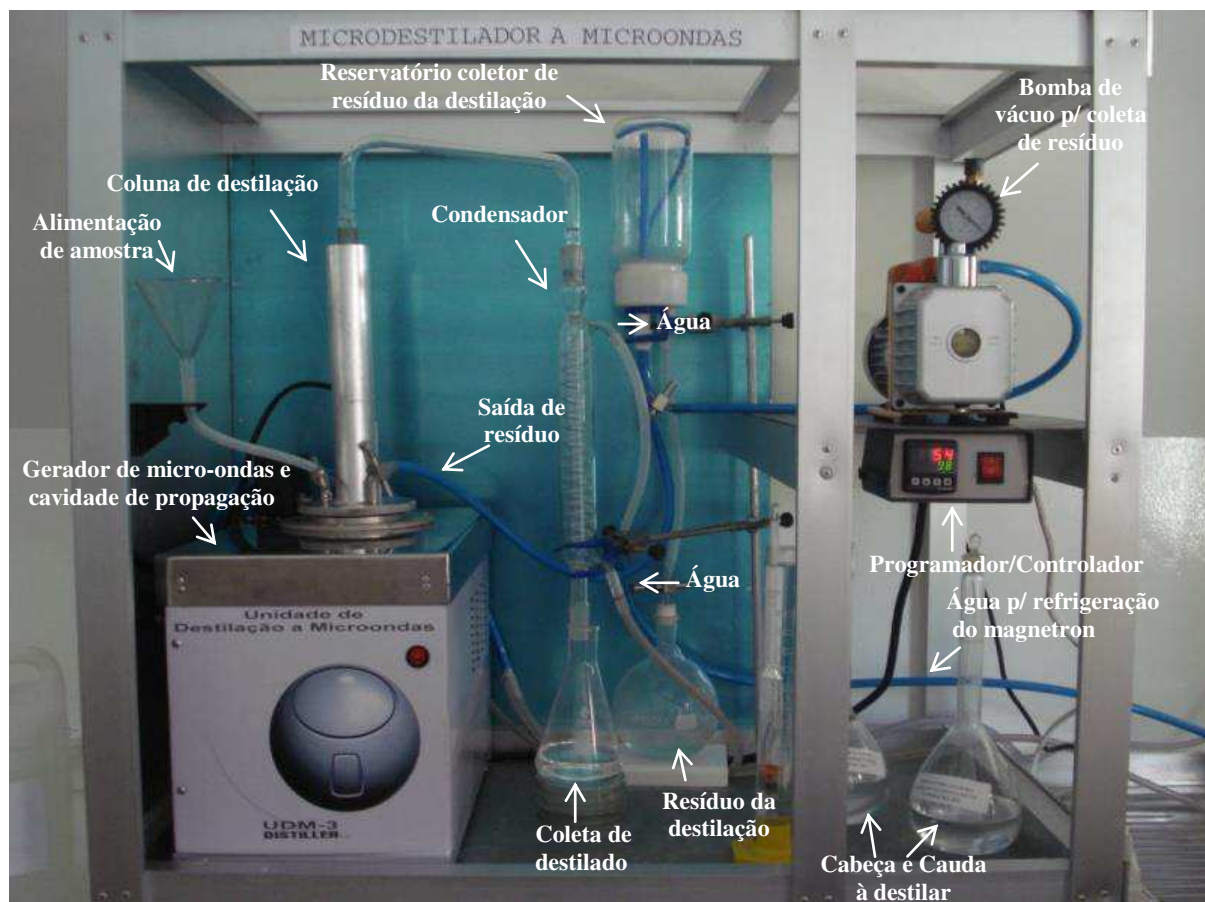


Figura 22 - Microdestilador de etanol assistido por micro-ondas
 FONTE: Laboratório Piloto de química Industrial (2012)

O processo de destilação de etanol das misturas (cabeça e cauda), usando microdestilador de etanol assistido por micro-ondas se caracteriza por ter energia eletromagnética (radiação micro-ondas) como fonte de geração de energia térmica. O microdestilador de etanol assistido por micro-ondas foi projetado, testado e o seu desenvolvimento atendeu as seguintes etapas:

- 1ª etapa - Definição das dimensões da cavidade de propagação de radiação micro-ondas da unidade de destilação (microdestilador assistido por micro-ondas);
- 2ª etapa - Construção da estrutura em alumínio para montagem do microdestilador;
- 3ª etapa - Definição da potência da fonte geradora de micro-ondas (magnetron);
- 4ª etapa - Mapeamento da propagação de micro-ondas na cavidade e definição da área com maior concentração de energia;

5ª etapa - Definição do volume da célula de evaporação em teflon para acúmulo da mistura a destilar;

6ª etapa - Confeção da célula de teflon com volume de 900 mL com poços de entrada para: alimentação de mistura (cabeça e cauda), coleta de resíduos após destilação, introdução do termopar e fixação da coluna de destilação;

7ª etapa - Dimensionamento e confecção de uma coluna de destilação em aço inox com recheios (esferas de aço inox);

8ª etapa - Adaptação de um sistema de condensação (condensador), em vidro com serpentina, para acoplar ao destilador;

9ª etapa - Definição da potência da bomba de vácuo e do vácuo a ser usado para extração dos resíduos;

10ª etapa - Definição da vidraria específica para acúmulo dos resíduos da destilação;

11ª etapa - Escolha do processador/controlador para instalar no microdestilador assistido por micro-ondas;

12ª etapa - Adaptação do registro de suprimento de água para refrigeração do sistema de destilação;

13ª etapa - Escolha dos tipos de registros (estrangulamento) para controle de fluxo do sistema de destilação;

14ª etapa - Definição dos volumes dos recipientes (provetas graduadas) para coleta de etanol destilado e resíduos da destilação;

15ª etapa - Construção de uma base em alumínio para suporte do sistema de destilação;

16ª etapa - Experimentação, correções e ajustes do sistema de destilação;

Na Figura 23(a) e 23(b) está apresentado em detalhes o forno de micro-ondas objeto de estudo para o desenvolvimento do microdestilador de etanol assistido por micro-ondas. Na Figura 24 esta apresentada a estrutura em aço inox do microdestilador (cavidade de propagação e fonte geradora de micro-ondas). O forno usado para a remoção da fonte geradora de micro-ondas a ser instalada no microdestilador apresentou as seguintes especificações técnicas: modelo ELETROLUX, capacidade de 18 litros e potência de 900 watts.

Desenvolvimento do microdestilador de etanol assistido por micro-ondas

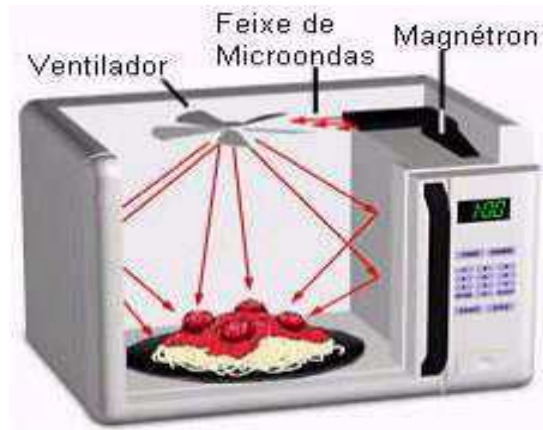
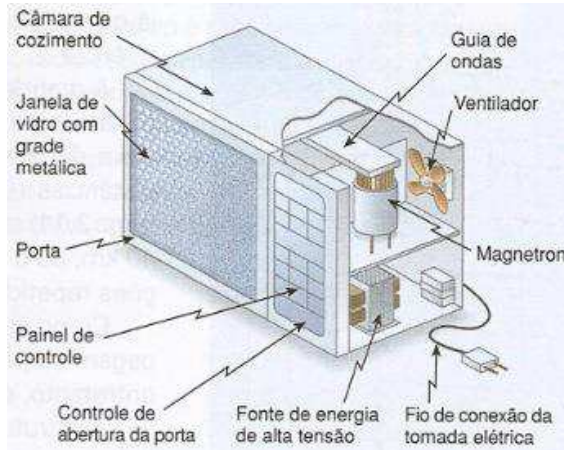


Figura 23 (a) - Forno micro-ondas

Figura 23 (b) - Forno (cavidade)

FONTE: <http://br.bing.com/images/search?q=imagens+interna+de+forno+microondas&FORM=HDRSC2>

FONTE: <https://www.google.com.br/search?q=imagens+dos+dispositivos+eletronicos+do+forno+microondas>

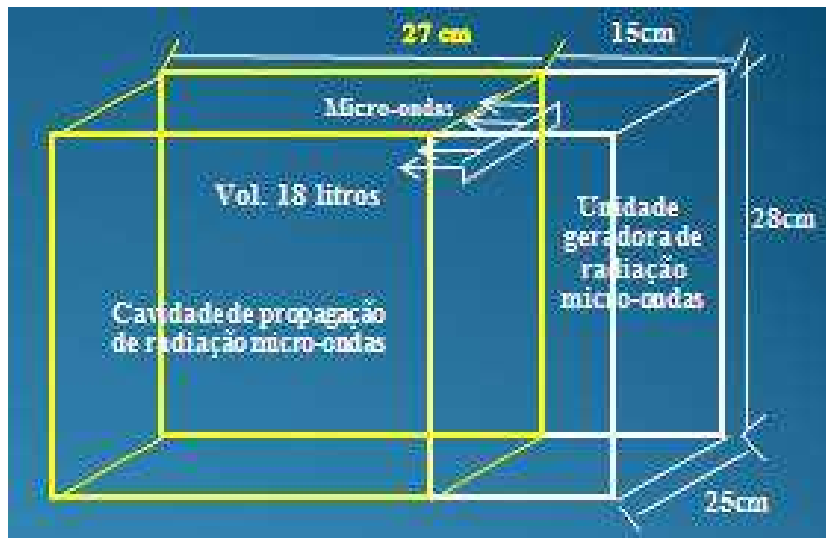


Figura 24 - Estrutura em aço do microdestilador de etanol assistido por micro-ondas

O Procedimento para o mapeamento da distribuição de propagação de micro-ondas dentro da cavidade do microdestilador foi realizado no próprio forno micro-ondas, conforme apresentado na Figura 25.

Procedimento:

1. Colocou-se 250 mL de água em nove beckeres de 250 mL e mediu-se a temperatura antes da aplicação da radiação;
2. Disposição dos nove beckeres dentro da cavidade de propagação de micro-ondas em posições equidistantes;
3. Propagação da radiação micro-ondas por 120 segundos à potência máxima 900 watts;
4. Medição da temperatura da água nos beckeres usando termômetro com escala de (0 – 200°C) após o aquecimento em cada posição;
5. Identificação do(s) Becker(es) que apresenta maior temperatura da água;

Cálculo da quantidade de energia/tempo absorvida pela água nos Beckeres usando a seguinte equação:

$$\Delta Q/t = m \times C_e \times \Delta T \tag{4.7}$$

onde:

$\Delta Q/t$ - energia absorvida por tempo (J /s)

m - massa de água (gramas)

C_e - calor específico da água (J / g °C)

$\Delta T = (T_f - T_i)$ Diferença de temperatura (°C)

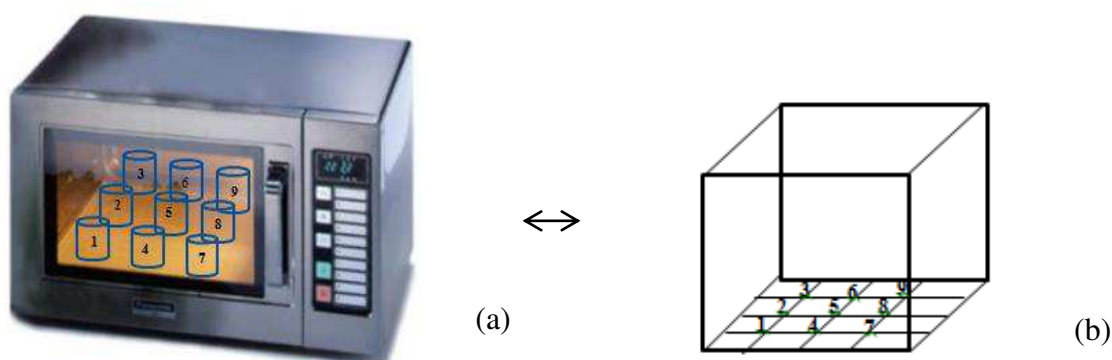


Figura 25 - Imagens da cavidade de propagação das micro-ondas: (a) - Disposição dos beckeres na cavidade; (b) - Pontos de aquecimento dos beckeres dentro da cavidade de propagação de micro-ondas.

FONTE: Adaptado https://www.cateringps.co.uk/cps_item.asp?ItemID=855

A Figura 26 apresenta a configuração física do microdestilador de etanol assistido por micro-ondas, separando a unidade de propagação da radiação micro-ondas (cavidade, célula de aquecimento, coluna de destilação, dispersador de micro-ondas e os outros acessórios) da unidade de geração da radiação.

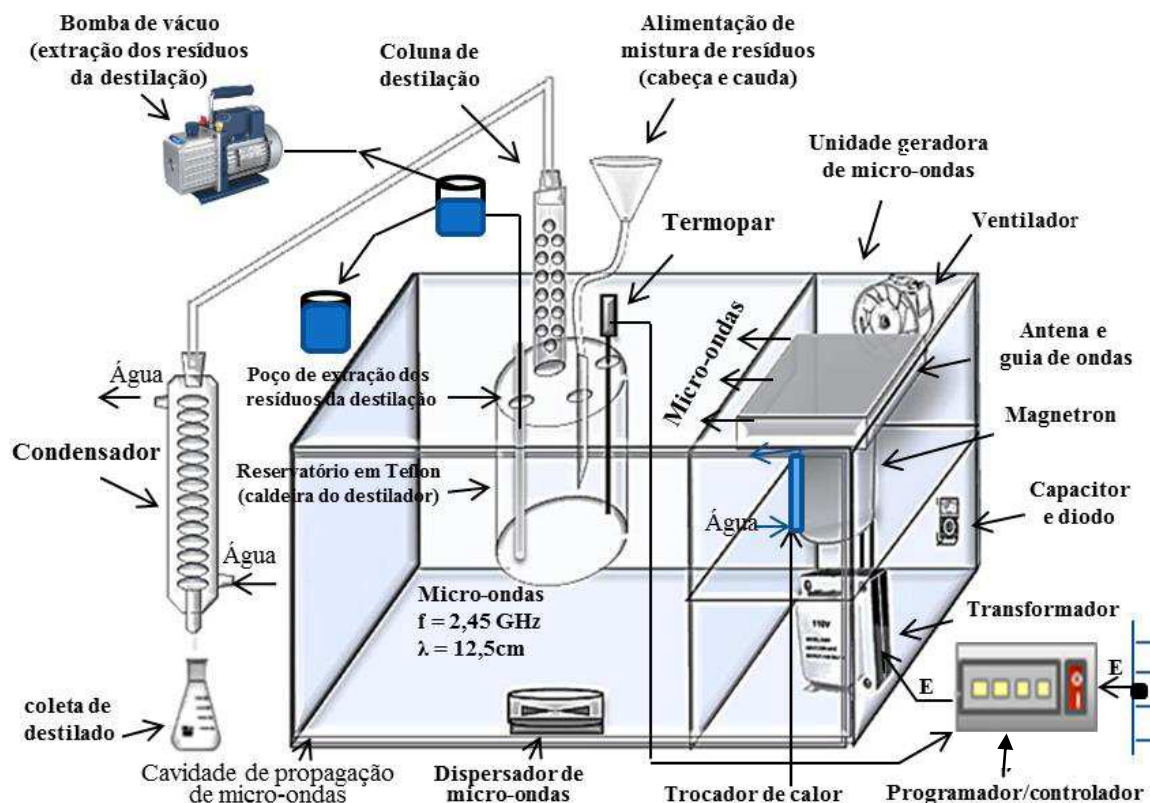


Figura 26 - Microdestilador de etanol assistido por micro-ondas (unidade de geração de micro-ondas, cavidade de propagação e sistema de destilação)

A unidade de geração de micro-ondas é constituída de: transformador, capacitor, diodo, magnetron, antena, guia de ondas, trocador de calor e ventilador para refrigeração do magnetron.

Está acoplada a cavidade de propagação da radiação micro-ondas, os seguintes sistemas: alimentação de amostra, remoção dos resíduos por vácuo, medição de temperatura (termopar) e coluna de destilação com condensador.

A Figura 27 apresenta o esquema (design) do microdestilador de etanol assistido por micro-ondas especificando todos os sistemas e acessórios do equipamento.

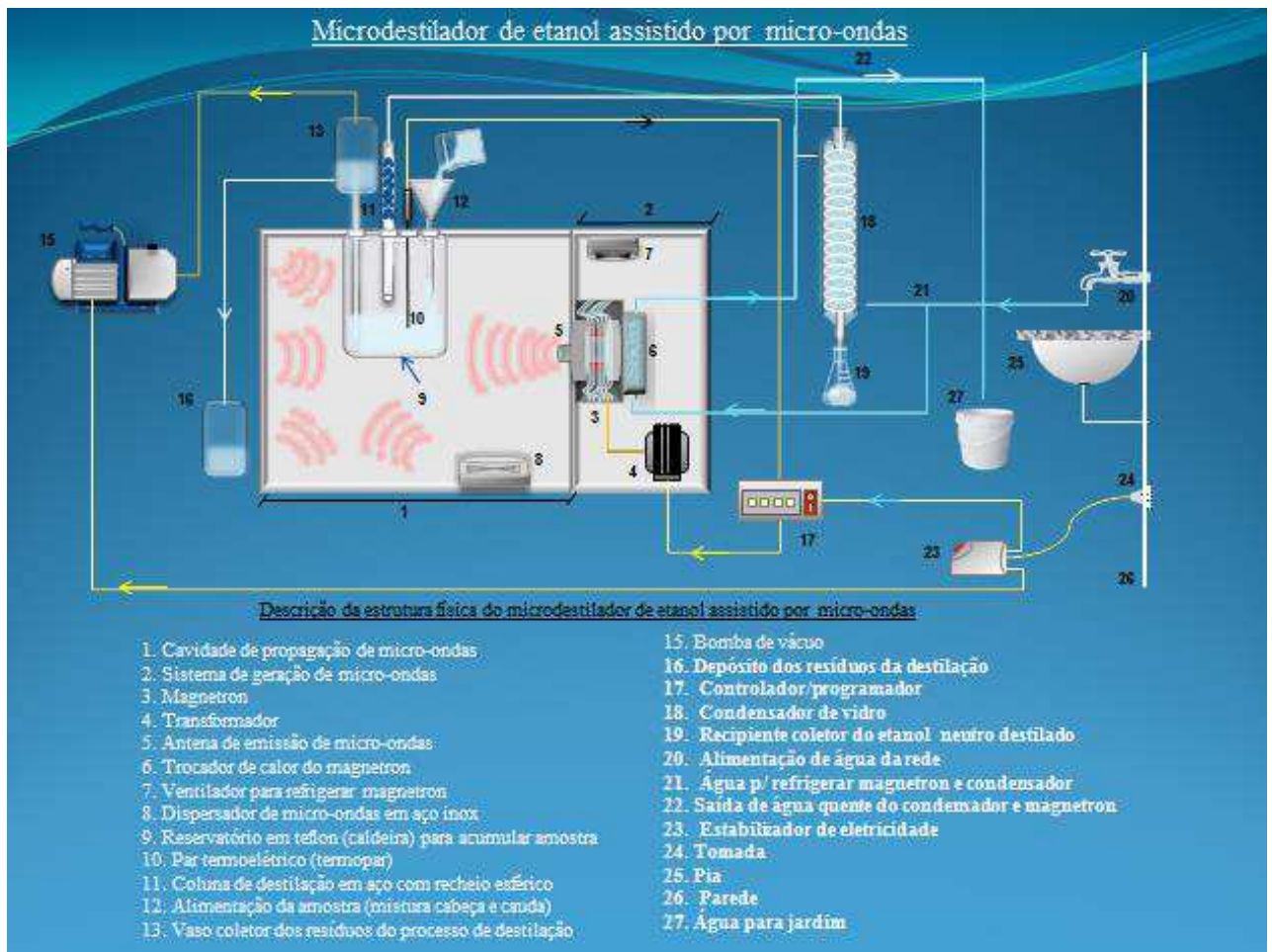


Figura 27 - Esquema do microdestilador de etanol assistido por micro-ondas

4.7.2.1 - Controle operacional do processo de destilação assistido por micro-ondas

Os procedimentos operacionais implementados nos processos de destilação para obtenção de etanol líquido a partir das misturas (Mr₁ - 40°GL, Mr₂ - 42,5°GL, Mr₃ - 45°GL, Mr₄ - 47,5°GL e Mr₅ - 50°GL), usando o microdestilador de etanol assistido por micro-ondas, foi realizado como descrito a seguir:

1. Alimentar o sistema com a mistura dos resíduos, mantendo os todos os outros registros fechados e, após esse procedimento, fechar o registro de alimentação;
2. Ligar o programador/controlador;

3. Programar a temperatura de aquecimento, taxa de aquecimento e o tempo de destilação;
4. Alimentar o sistema com a mistura dos resíduos, mantendo os todos os outros registros fechados e, após esse procedimento, fechar o registro de alimentação;
5. Ligar o programador/controlador;
6. Programar a temperatura de aquecimento, taxa de aquecimento e o tempo de destilação;
7. Acionar a chave liga/desliga da unidade de geração de micro-ondas;
8. Ligar o registro de água de refrigeração e controlar o fluxo de água de para manter a temperatura do destilado em no máximo 30°C;
9. Verificar o tempo do início da destilação do etanol observando as primeiras gotas do destilado ao cair no recipiente coletor;
10. Coletar a primeira fração de destilado (impurezas) e medir o grau alcoólico;
11. Coletar todo o etanol previsto para destilação;
12. Anotar o tempo gasto na destilação;
13. Medir o grau alcoólico do destilado;
14. Desligar o controlador/programador;
15. Fechar o registro de água de refrigeração;
16. Esgotar os resíduos da destilação abrindo o registro e acionando a bomba de vácuo por quinze segundos;
17. Determinar o rendimento da destilação

4.7.2.2 - Determinação dos dados de entradas para o processo de destilação das misturas (cabeça e cauda) usando microdestilador de etanol assistido por micro-ondas

A Tabela 7 apresenta os dados de entrada para o desenvolvimento dos processos destilatórios no microdestilador assistido por micro-ondas das misturas (Mr₁, Mr₂, Mr₃, Mr₄ e Mr₅). O volume dos destilados (etanol neutro) e o volume de impurezas (substâncias indesejáveis) foram definidos e calculados previamente, após vários testes de destilação e usando as Equações 4.5 e 4.6, ou seja, determinados antes dos procedimentos operacionais de destilação.

Tabela 7 - Dados de entrada do processo de destilação das misturas (Mr₁, Mr₂, Mr₃, Mr₄ e Mr₅) usando microdestilador de etanol assistido por micro-ondas

Mistura	Volum e	Grau Alcoólico	Temperatura de aquecimento	Extração de impurezas	Volume do destilado
Mr ₁	550 mL	40°GL	99°C	5% (11 mL)	209 mL
Mr ₂	550 mL	42,5°GL	99°C	5% (11,6 mL)	222 mL
Mr ₃	550 mL	45°GL	99°C	5% (12,3 mL)	235,1 mL
Mr ₄	550 mL	47,5 GL	99°C	5% (13 mL)	248 mL
Mr ₅	550 mL	50°GL	99°C	5% (13,7 mL)	261,2 mL

Os destilados obtidos de cada mistura foram coletados em uma proveta de 500 mL graduada e em seguida determinados os seus teores alcoólicos por densimetria. Na determinação por densimetria usou-se um alcoômetro centesimal Gay Lussac apresentado na Figura 17, os outros componentes voláteis foram determinados num cromatógrafo com detector de ionização de chama mostrado na Figura 19.

4.7.3 - Processo de obtenção de etanol gel antisséptico usando etanol neutro extraído dos resíduos com microdestilador convencional e assistido por micro-ondas.

A Figura 28 apresenta a planta utilizada no processo de obtenção de etanol gel antisséptico usando etanol líquido a 85°GL e a 80°GL, extraído por destilação convencional e destilação assistido por micro-ondas respectivamente das misturas (Mr₁, Mr₂, Mr₃, Mr₄ e Mr₅).

O etanol líquido extraído das misturas em ambos os destiladores foi diluído com água deionizada para 78°GL (70°INPM) para se preparar o etanol gel antisséptico.

O tempo médio para se obter o etanol gel antisséptico nos dois processos a partir do etanol líquido a 85°GL e 80°GL é da ordem de 33 minutos (25 minutos para diluição do carbopol no etanol - agitação de 600 a 800 rpm, 5 minutos para a gelificação da mistura (adição de água e trietanolamina) - agitação de 100 a 150 rpm e 3 minutos para diluição da glicerina - agitação de 50 a 70 rpm).

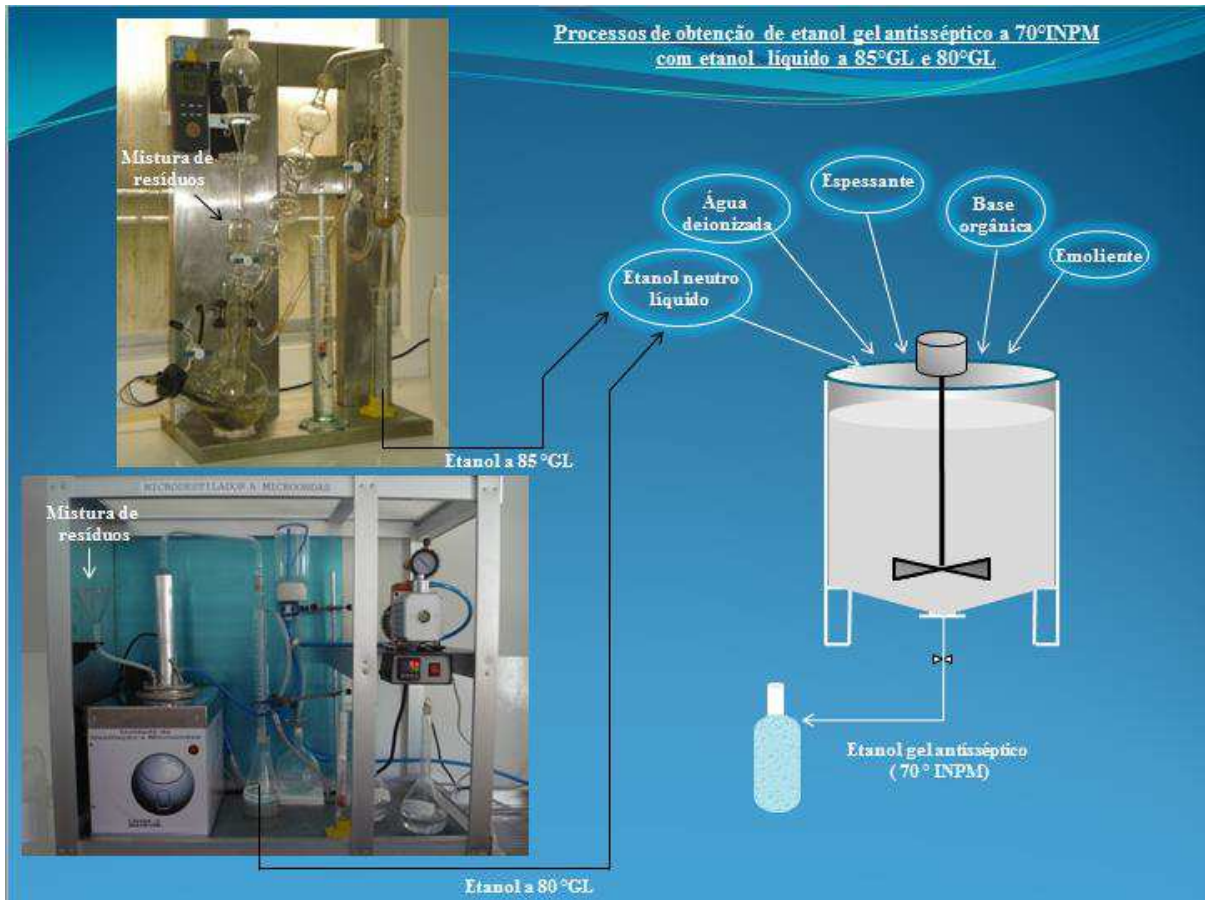


Figura 28 - Planta química dos processos de obtenção de etanol gel antisséptico usando etanol líquido a 85°GL e a 80°GL extraído dos resíduos (cabeça e cauda)
 FONTE: Laboratório Piloto de Química Industrial (2012)

4.8 - Custo/benefício de obtenção de etanol gel antisséptico a partir dos resíduos (cabeça e cauda) em relação ao etanol gel tradicional e metodologia para determinação do consumo de energia elétrica nos dois destiladores

Como complemento a metodologia é importante analisar os custos e benefícios financeiros que a produção de etanol gel antisséptico obtido dos resíduos pode trazer para a cadeia de valor da cachaça de alambique. Tendo como objetivo uma análise comparativa e não uma análise de viabilidade econômica de investimentos, foi desenvolvido um método de uma análise simplificada das três alternativas de produção do etanol gel conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Alternativas Tecnológicas para Produzir Etanol Gel Antisséptico
I - Produção do Etanol Gel tradicional a partir de Etanol neutro de destilaria a 96°GL
II - Produção do Etanol Gel a partir do Etanol de Resíduo (cabeça e cauda) a 85°GL
III - Produção do Etanol Gel a partir do Etanol de Resíduo (cabeça e cauda) a 80°GL

Para cada alternativa se consideram somente os custos diretos para produção de 100 kg de etanol gel antisséptico e se determina a margem de contribuição que cada alternativa tecnológica.

Em consulta ao proprietário do conceituado Engenho Triunfo cuja capacidade de produção é de 6000 litros de cachaça por dia, localizado na cidade de Areia no Estado da Paraíba, o custo de produção, incluindo custos variáveis (CV) e custos fixos (CF) por litro de cachaça em dezembro de 2012 é de R\$ 1,30 / Litro da bebida BARACHO, (2012). Para cada 100 litros de cachaça produzidos, em média, se produzem 20 litros de resíduos (cabeça e cauda) e como os resíduos não tem ainda preço no mercado, considerou-se que o custo por litro dos resíduos (Cr) seria proporcional ao volume de produção dos produtos (120 litros).

O cálculo do custo por litro dos resíduos é determinado pela seguinte equação:

$$Cr = Cc \times Vr / Vc \quad (4.8)$$

Onde, Cr o custo do resíduo, Cc o custo da cachaça, Vr o volume dos resíduos e Vc o volume de cachaça.

A Figura 29 apresenta o fluxograma dos quantitativos de cachaça e resíduos (cabeça e cauda) produzidos a partir de 800 kg de cana-de-açúcar, processada em engenho tradicional, considerando os custos com material de consumo.

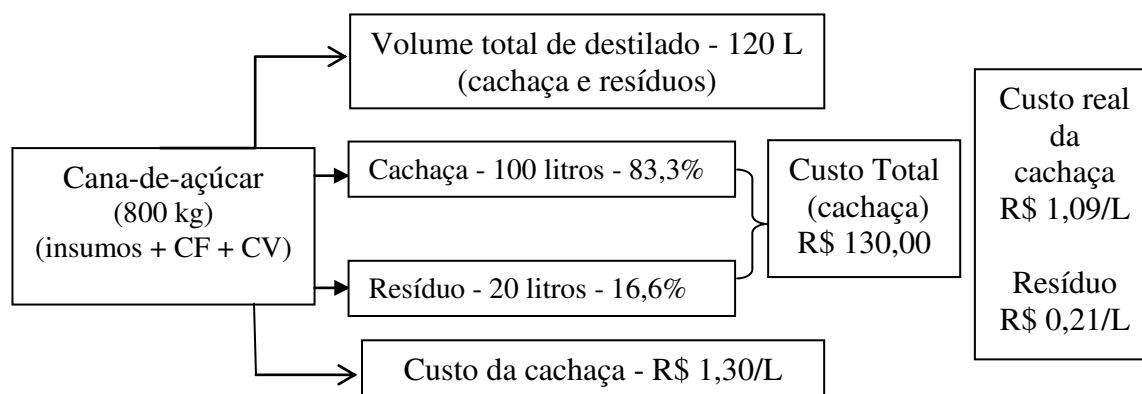


Figura 29 - Fluxograma dos quantitativos de cachaça e de resíduos (cabeça e cauda) produzidos a partir de 800 kg de cana-de-açúcar.

O custo por litro dos resíduos (cabeça ou cauda) é determinado através da equação (4.8), isto é, $Cr = R\$ 1,30 \times (20 \text{ L} / 120 \text{ L}) = R\$ 0,21$ e encontra-se incorporado no preço de mercado da cachaça, já que os resíduos não tem valor de mercado.

A pesquisa foi desenvolvida em nível laboratorial e somente o custo com material de consumo (etanol extraído dos resíduos, carbopol, trietilonamina, glicerina e embalagens) para produzir o etanol gel antisséptico foi levado em consideração. O método incluindo as formulações químicas, foi desenvolvido na forma de planilha para identificar o custo com material de consumo por quilograma de etanol gel antisséptico, referente às três alternativas tecnológicas está apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Planilha de custo de material de consumo para produzir 100 kg (base de cálculo) de etanol gel antisséptico para as três alternativas tecnológicas

Item	Especificação	Unid.	Quant.	Valor Unit. (R\$)	Total (R\$)
01	Componente 1	L	x1	y1	x1 x y1
02	Componente 2	Kg	x2	y2	x2 x y2
03	Componente 3	L	x3	y3	x3 x y3
04	Componente 4	L	x4	y4	x4 x y4
05	Componente 5	L	x5	y5	x5 x y5
06	Embalagem plástica	500 mL	x6	y6	x6 x y6

$$\sum x_i \times y_i$$

Onde: x1, x2, x3, x4, x5 e x6 - quantidade de componente, y1, y2, y3, y4, y5 e y6 - preço unitários por componente.

O custo/benefício de obtenção do etanol gel antisséptico a partir dos resíduos (cabeça e cauda), será mensurado, comparando os resultados obtidos das planilhas de custos com material de consumo para as três alternativas tecnológicas de produção de álcool gel.

Considerando o custo por litro dos resíduos igual a R\$ 0,21, o custo por litro de etanol a 85°GL e 80°GL, obtidos dos resíduos em destilador convencional e a micro-ondas, determina-se através da seguinte equação:

$$C_e = C_r / \text{°GLr} \times F_d \quad (4.9)$$

Onde, C_e o custo do etanol, °GLr o grau alcoólico da mistura de resíduos e F_d o fator de correção de etanol 100% à 85% e 80%.

A economia de custo com material de consumo do etanol gel obtido dos resíduos (cabeça e cauda) com etanol a 85°GL e 80°GL em relação ao etanol gel tradicional, é determinada pela equação:

$$EC = 1 - CUR / CUT \quad (4.10)$$

Onde, EC a Economia de custo, CUR o Custo unitário do EGA/kg usando etanol dos resíduos, CUT o Custo unitário do EGA/kg tradicional.

A metodologia para mensuração e comparação do consumo de energia elétrica em ambos os processos de destilatórios (destilação convencional e destilação assistida por micro-ondas), foi desenvolvida tendo o analisador de qualidade de energia digital como equipamento medidor da potência consumida em kwh com a determinação da média das medições de consumo para cada 10 ensaios de destilação em ambos os microdestiladores.

Nas Figuras 30 e 31 estão apresentados os equipamentos para os procedimentos experimentais de determinação do consumo de energia elétrica no microdestilador de etanol convencional e microdestilador de etanol assistido por micro-ondas.

O método para se extrapolar os quantitativos de etanol neutro obtido em escala laboratorial a partir dos resíduos para escala industrial (engenho) está descrito no APÊNDICE.



Analisador de energia

Figura 30 - Microdistilador de etanol convencional e analisador de energia



Figura 31 - Microdistilador de etanol assistido por micro-ondas e analisador de energia

5.0 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo estão apresentados os resultados e discussão relativos à composição físico-química dos resíduos (cabeça e cauda), a preparação das misturas (cabeça e cauda) a destilar e as cinéticas dos processos destilatórios das misturas no microdestilador de etanol convencional e microdestilador assistido por micro-ondas, como também serão mostrados a caracterização do etanol líquido extraído dos resíduos, formulações químicas de preparação do álcool gel a partir dos resíduos e o custo/benefício proporcionado pela nova tecnologia de obtenção de álcool gel antisséptico.

5.1 - Caracterização físico-química e física dos resíduos (cabeça e cauda)

Com os resultados da caracterização dos resíduos, foi definido o percentual (5%) de extração de impurezas (componentes mais voláteis e menos voláteis do que o etanol) consideradas indesejáveis e extraídas como primeira fração do destilado em ambos os microdestiladores. O cálculo da extração das impurezas, teve como referência, dados quantitativos da caracterização (907 mg de componentes indesejáveis/100mL de etanol anidro) na mistura dos resíduos (cabeça e cauda), pois, se faz necessário obter o etanol líquido com especificação neutra para a obtenção do álcool gel antisséptico.

Os valores dos teores alcoólicos em °GL obtidos dos resíduos e as quantidades dos componentes secundários (substâncias químicas com pontos de ebulição menores e maiores do que o etanol) apresentaram valores semelhantes aos publicados nas literaturas especializadas (MAIA 1994, RIBEIRO 1997, CARDOSO, 2001) e compatíveis com os resultados obtidos nos engenhos de cachaça selecionados quando do desenvolvimento do trabalho de tese para visitas.

Na Tabela 9 está representada a caracterização físico-química dos resíduos (cabeça e cauda), ou seja, a graduação alcoólica e os quantitativos dos componentes químicos (substâncias com pontos de ebulição maiores e menores do que o do etanol), bem como, os parâmetros físicos em valores médios e desvio padrão.

Tabela 9 - Caracterização físico-química e física dos resíduos (cabeça e cauda)

Parâmetros analisados	Cabeça	Cauda	PE (°C)
Teor alcoólico em etanol (°GL - % v/v)	70,5	20,8	
Aldeído acético (mg /100 mL de AA*)	145 ± 0,8	12,5 ± 0,5	21
Acetatos de etila (mg /100 mL de AA)	74,1 ± 0,5	8,91 ± 0,8	77
Ácido acético (mg /100 mL de AA)	9 ± 0,9	43 ± 0,5	118
Propanol (mg /100 mL de AA)	41 ± 0,5	20 ± 0,4	97
2- Butanol (mg /100 mL de AA)	7,5 ± 0,2	15 ± 0,2	99,5
Isobutanol (mg /100 mL de AA)	76 ± 0,8	15 ± 0,4	108
1-Butanol (mg /100 mL de AA)	0,8 ± 0,1	0,4 ± 0,1	117
Álcool Isoamílico (mg /100 mL de AA)	294 ± 0,8	30 ± 0,6	64,5
Metanol (mg/100 mL AA)	3,8 ± 0,2	39 ± 0,6	131
Ph	6,5	6,2	
Densidade (g/cm ³)	0,90	0,92	
Aspecto	Límpida	Límpida	
Aroma	Frutal	madeirado	

AA (*) - Álcool Anidro

Na Tabela 10 estão representados os resultados dos ensaios cromatográficos realizados com as amostras dos resíduos coletados no Engenho Triunfo e os publicados em literatura citada. Comparando os resultados, observa-se que, as quantidades de etanol e dos componentes secundários (substâncias mais e menos voláteis) do que o álcool nos resíduos se mantiveram na faixa dos dados publicados na literatura especializada citada no presente trabalho (MAIA, 2000; RIBEIRO, 2000; NOVAES, 1970).

Tabela 10 - Resultados da caracterização experimental (CE) dos resíduos (cabeça e cauda) obtidos por cromatografia gasosa e da caracterização dos resíduos publicados em literatura especializada (CLE) considerando os seus respectivos desvios padrões.

Parâmetros	Cabeça (CE)	Cauda (CE)	Cabeça (CLE)	Cauda (CLE)
Analisados	(mg /100mL de AA*)		(mg /100mL de AA*)	
Teor alcoólico (°GL)	70,5	20,8	70	20
Aldeído acético	145 ± 0,5	12 ± 0,2	165 ± 0,5	11 ± 0,3
Acetatos de etila	74 ± 0,2	8,9 ± 0,3	102 ± 0,1	6,9 ± 0,3
Ácido acético	9,5 ± 0,4	43 ± 0,2	9,3 ± 0,3	41,5 ± 0,2
Propanol	41 ± 0,5	20 ± 0,3	40 ± 0,2	21 ± 0,4
2- Butanol	7,5 ± 0,5	15 ± 0,3	7,3 ± 0,3	15,9 ± 0,2
Isobutanol	170 ± 0,5	14 ± 0,2	75 ± 0,5	14 ± 0,4
1-butanol	0,8 ± 0,1	0,4 ± 0,1	0,72 ± 0,03	0,38 ± 0,02
Álcool Isoamilico	294 ± 0,2	28 ± 0,5	329 ± 0,5	37 ± 0,3
Metanol	5,5 ± 0,2	40 ± 0,2	6,6 ± 0,3	72 ± 0,3
pH	6,5	6,8	6,5	6,9
Densidade (g/cm ²)	0,90	0,92	0,90	0,93
Aspecto	Límpida	Límpida	Límpida	Límpida
Aroma	Frutal	Madeirado	Frutal	Madeirado

AA (*) - Etanol Anidro

A metodologia utilizada para identificação do aspecto sensorial (limpidez e aroma) para os resíduos (cabeça e cauda) oriundos do engenho Triunfo foi empírica, mas, com a participação de técnicos experientes em laboratório de química. Os valores referentes a acetato de etila e isobutanol acima dos determinados e publicados em literatura especializadas deve-se a presença de leveduras selvagens que se agregam ao processo fermentativo, mas, sem contribuição negativa ao aroma do etanol destilado.

5.2 - Preparação das misturas dos resíduos (cabeça e cauda) a destilar para obtenção de etanol líquido neutro.

Baseado em dados fornecidos pela literatura especializada e por técnicos das unidades industriais de fabricação de cachaça (engenhos Triunfo e engenho São Paulo), em que rotineiramente se extraem do sistema de destilação (alambique), proporções iguais em volume de cabeça (10%) e cauda (10%) relativos à produção de cachaça com concentrações alcoólicas de 60°GL a 70°GL para cabeça e 20°GL a 30°GL para cauda, foram realizados inicialmente nove tipos de ensaios de preparação de misturas denominados (M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9) em proporções 1:1 e a partir destes, definidos cinco denominados de (Mr₁, Mr₂, Mr₃, Mr₄ e Mr₅) com graduação alcoólica de 40°GL, 42,5°GL, 45°GL, 47,5°GL e 50°GL respectivamente. Os cinco tipos de misturas conforme apresentada na Tabela 11, quando alimentadas em ambos os aparelhos de destilação (convencional e a micro-ondas) apresentaram resultados satisfatórios de graduação alcoólica dos destilados e rendimento de processo.

Tabela 11 - Teores alcoólicos dos resíduos e de suas misturas em proporção (1:1)

Cabeça (Teor alcoólico em °GL)	Cauda (Teor alcoólico em °GL)	Mistura (cabeça e cauda) (Teor alcoólico em °GL)
60°GL	20°GL	Mistura (M1): 40°GL *
65°GL	20°GL	Mistura (M2): 42,5°GL *
70°GL	20°GL	Mistura (M3): 45°GL *
60°GL	25°GL	Mistura (M4): 42,5°GL
65°GL	25°GL	Mistura (M5): 45°GL
70°GL	25°GL	Mistura (M6): 47,5°GL *
60°GL	30°GL	Mistura (M7): 45°GL
65°GL	30°GL	Mistura (M8): 47,5°GL
70°GL	30°GL	Mistura (M9): 50°GL *

Misturas de resíduos (Mr₁, Mr₂, Mr₃, Mr₄ e Mr₅) a destilar.

5.3 - Mapeamento da propagação de radiação micro-ondas no microdestilador de etanol assistido a micro-ondas

O mapeamento da distribuição de radiação micro-ondas dentro da cavidade do forno micro-ondas (cavidade idêntica a do microdestilador), conforme Figura 25 (a) e (b), apresentou resultados de distribuição de temperatura da água e de consumo de energia diferentes, sendo a região central da cavidade (ponto 5), a de maior concentração de radiação micro-ondas ($T = 98^{\circ}\text{C}$ e $P = 627$ watts). A Tabela 12 apresenta os resultados obtidos através da Equação 4.7 com tempo de fornecimento de radiação micro-ondas de 120 segundos.

Tabela 12 - Mapeamento da distribuição da radiação micro-ondas dentro da cavidade do microdestilador assistido por micro-ondas.

Ponto	m (g)	Ti ($^{\circ}\text{C}$)	Tf ($^{\circ}\text{C}$)	Tempo (s)	P (watts)	P (watts/cm ³)
1	250	26	65	120	339	1,35
2	250	26	57	120	270	1,08
3	250	26	68	120	365	1,46
4	250	26	87	120	531	2,12
5	250	26	98	120	627	2,50
6	250	26	80	120	470	1,88
7	250	26	61	120	304	1,21
8	250	26	59	120	287	1,14
9	250	26	70	120	387	1,53

A Tabela 12 apresenta os pontos 4, 5 e 6 com maior intensidade de dissipação de calor dentro da cavidade de propagação, portanto, a melhor região da cavidade para se colocar a célula de evaporação (recipiente de teflon), no microdestilador assistido por micro-ondas, e se obter a maior extração de etanol das misturas de resíduos (cabeça e cauda) é na área/volume correspondente aos pontos 4,5 e 6.

5.4 - Cinética dos processos de destilação das misturas (cabeça e cauda) usando microdestilador de etanol convencional e assistido por micro-ondas

A Figura 32 representa os resultados das cinéticas de destilação (grau alcoólico médio dos destilados x grau alcoólico das misturas das misturas (Mr₁, Mr₂, Mr₃, Mr₄ e Mr₅) obtido no microdestilador de etanol convencional e assistido por micro-ondas. Observa-se que, as graduações alcoólicas dos destilados crescem proporcionalmente em relação às graduações alcoólicas das misturas, apresentam valores diferentes e próximos entre si, mas, acima da graduação alcoólica (76°GL) do álcool líquido recomendado pela ANVISA para preparação de etanol gel. A variação dos valores dos resultados obtidos da cinética (°GLd x °GLm), quando se destila os resíduos no microdestilador convencional acima dos valores encontrados nos ensaios quando destila-se os resíduos no microdestilador assistido por micro-ondas, deve-se ao fato, de o destilador convencional ser um equipamento já consolidado tecnicamente não necessitando mais de otimização.

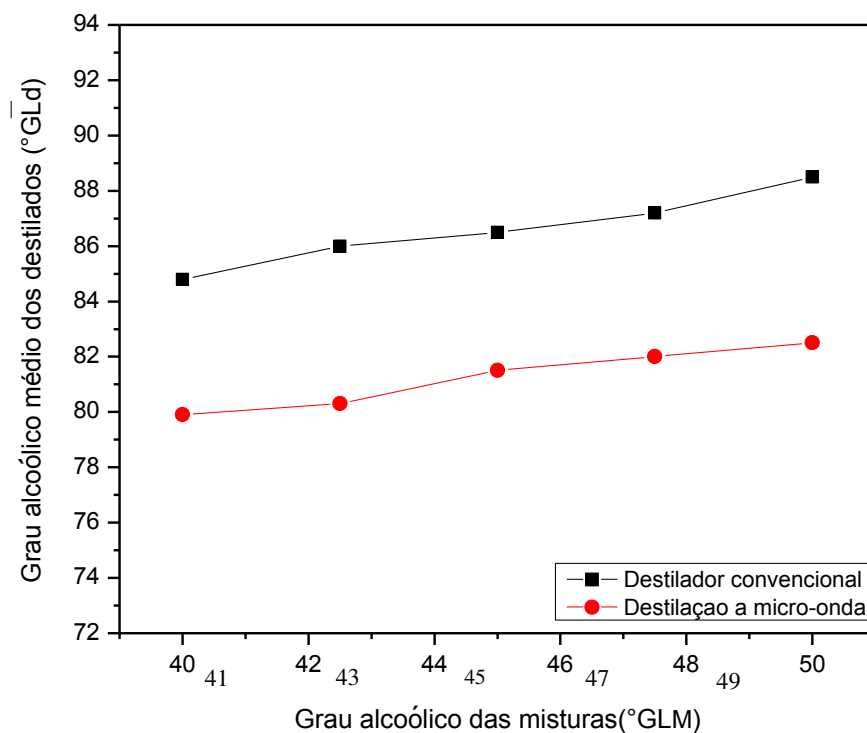


Figura 32 - Cinética da destilação (°GLd x °GLm) das misturas usando microdestilador de etanol convencional e assistido por micro-ondas

A Figura 33 representa os resultados das cinéticas de destilação (tempos destilação x grau alcoólicos das misturas (Mr₁, Mr₂, Mr₃, Mr₄ e Mr₅) obtidos no microdestilador de etanol convencional e microdestilador assistido por micro-ondas. Para volume máximo de alimentação de amostras (42 mL e 550 mL) alimentado respectivamente nos microdestiladores convencional e assistidos por micro-ondas, observa-se que, embora os tempos de destilação em ambos os microdestiladores apresentarem valores diferentes, mas, com o mesmo comportamento, variando para os ensaios desenvolvidos no microdestilador convencional de 8,2 min. a 9,7 min. com média de 8,95 min. e no microdestilador assistido a micro-ondas de 14,5 min. a 15,6 min. com média de 15,1 min., o tempo de destilação é inversamente proporcional ao aumento da graduação alcoólica das misturas, ou seja, quanto mais concentrada for a mistura dos resíduos em etanol, maior será a economia de energia, principalmente no microdestilador assistido por micro-ondas, pois, a relação de volume de alimentação é de 1:13.

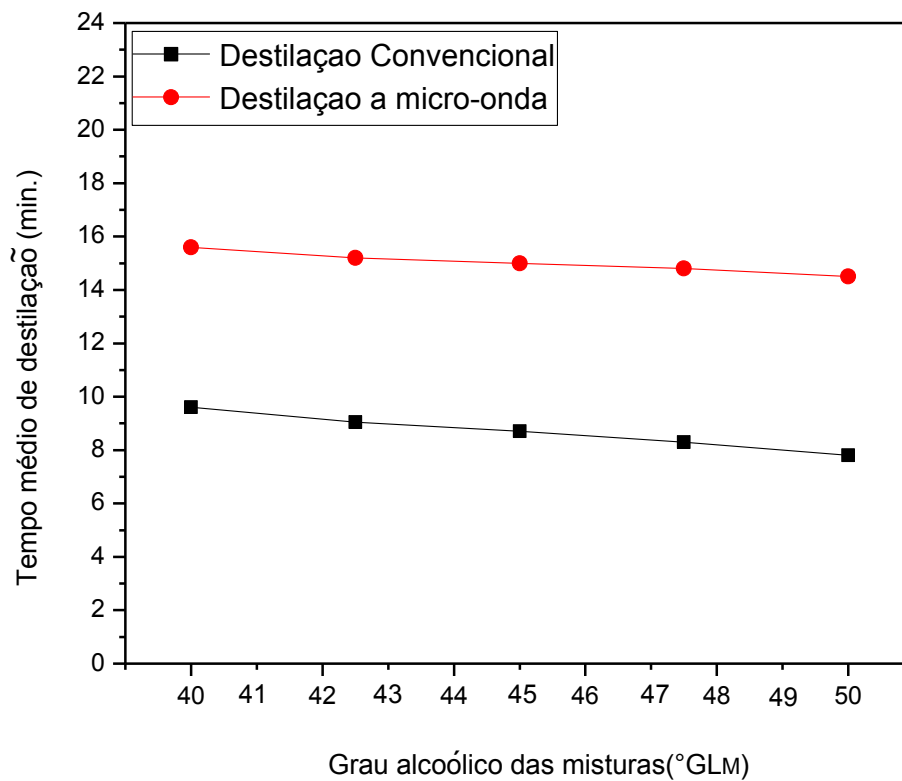


Figura 33 - Cinética da destilação (Td x °GLM) das misturas usando microdestilador de etanol convencional e assistido por micro-ondas

A Figura 34 representa os resultados das cinéticas de destilação (rendimento de destilação x grau alcoólicos das misturas Mr₁, Mr₂, Mr₃, Mr₄ e Mr₅) obtidos no microdestilador de etanol convencional e microdestilador assistido por micro-ondas. Ao analisar a Figura 34 observa-se que, os rendimentos foram crescentes em função do aumento da graduação alcoólica das misturas, 84% a 87,8% obtidos no microdestilador convencional e 79,2% a 81,7% no microdestilador assistido por micro-ondas. Do ponto de vista de eficiência de processo, os resultados são altamente significativos, haja vista que, foram descartados 5% do destilado como impurezas, podendo ser retirado até 10% para melhorar mais o aroma do etanol líquido destilado.

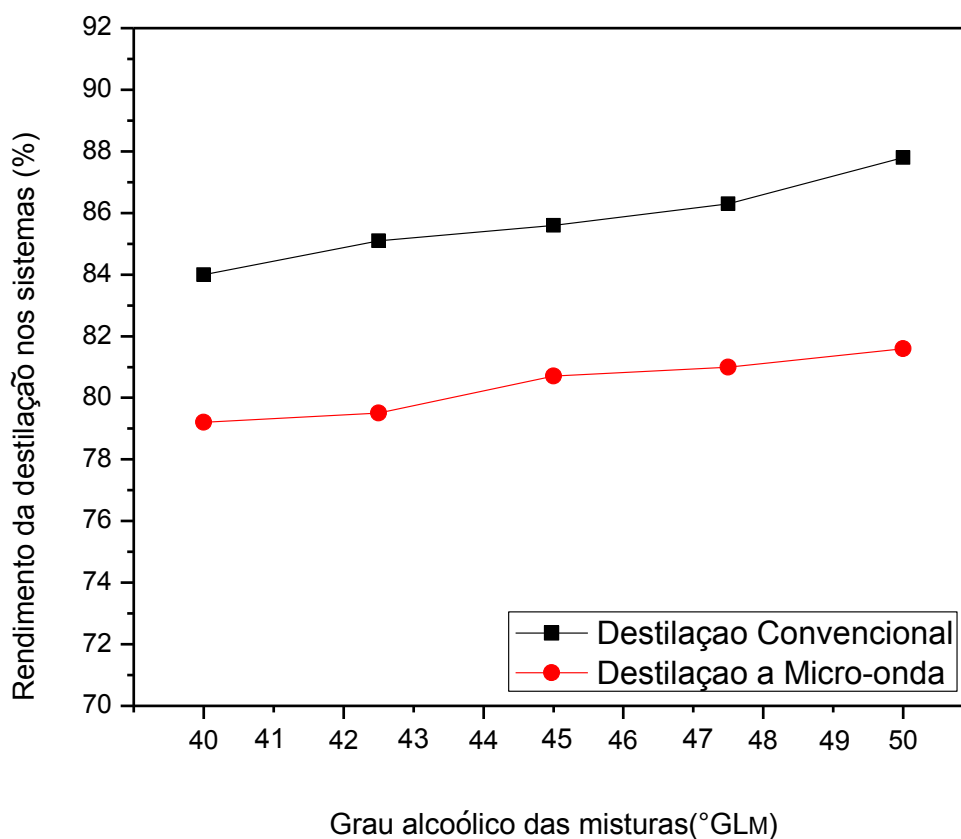


Figura 34 - Cinética da destilação (Rd x°GLM) das misturas usando microdestilador de etanol convencional e assistido por micro-ondas

Outra observação importante que deve ser considerada nos resultados experimentais do processo de destilação é a relação de volume de alimentação das misturas de resíduos nos microdestiladores. Para o microdestilador de etanol convencional trabalhamos com a alimentação máxima de 42 mL e para o microdestilador assistido por micro-ondas 550 mL, isto devido, a capacidade da caldeira de aquecimento (900 mL).

Nas Tabelas 13 e 14 estão representados os rendimentos dos processos de destilação convencional e assistidos por micro-ondas das misturas (Mr₁, Mr₂, Mr₃, Mr₄ e Mr₅).

Tabela 13 - Rendimento dos processos de destilação das misturas (Mr₁, Mr₂, Mr₃, Mr₄ e Mr₅) usando microdestilador convencional

Graduação alcoólica da amostra (°GLa)	Volume de etanol (Vn)	Grau alcoólico etanol (°GLn)	Volume amostra (Va)	Rendimento (Rd)
Mr ₁ : 40°GL	15,96 mL	84,6 °GL	42 mL	84%
Mr ₂ : 42,5°GL	16,96 mL	86 °GL	42 mL	85,1%
Mr ₃ : 45°GL	17,96 mL	86,5°GL	42 mL	85,6%
Mr ₄ : 47,5°GL	18,96 mL	87,2°GL	42 mL	86,3%
Mr ₅ : 50°GL	20 mL	88,5°GL	42 mL	87,8%

Os rendimentos apresentados na tabela 13, foram obtidos num equipamento que já tem sua tecnologia consolidada e são expressivo para o objetivo da pesquisa.

Tabela 14 - Rendimento dos processos de destilação das misturas (Mr₁, Mr₂, Mr₃, Mr₄ e Mr₅) usando microdestilador assistido por micro-ondas

Graduação alcoólica da amostra (°GLa)	Volume de etanol (Vn)	Grau alcoólico etanol (°GLn)	Volume amostra (Va)	Rendimento (Rd)
Mr ₁ : 40°GL	209 mL	79,9°GL	550 mL	79,1%
Mr ₂ : 42,5°GL	222 mL	80°GL	550 mL	79,2 %
Mr ₃ : 45°GL	235,1 mL	81,5°GL	550 mL	80,7 %
Mr ₄ : 47,5°GL	248 mL	82°GL	550 mL	81,1 %
Mr ₅ : 50°GL	261,25 mL	82,3°GL	550 mL	81,5%

Apesar de apresentar menor rendimento, mas, significativo em termos de processos destilatórios, considerando a extração das impurezas voláteis ($10\% \geq Iv \geq 5\%$) o processo de destilação assistido por micro-ondas apresenta as seguintes vantagens: volume de alimentação 13 vezes maior em relação ao processo de destilação convencional, tempo de destilação expressivamente menor e processo sem geração de poluentes.

As cinéticas dos vários ensaios usando microdestilador de etanol convencional e assistido por micro-ondas mostraram que, para temperatura de aquecimento constante de 99°C a destilação para cada tipo de mistura (Mr_1 , Mr_2 , Mr_3 , Mr_4 e Mr_5) apresentou comportamento similar quanto à graduação alcoólica do destilado, tempo de destilação e rendimento de processo. Diante destes resultados, e tendo como referência as especificações do álcool líquido recomendado para preparação do etanol gel antisséptico, as condições físicas recomendadas para o processo destilatório convencional são: temperatura de aquecimento (99°C), pressão de vapor ($0,998 \text{ kgf/cm}^2$) e extração de impurezas voláteis (5%) e para o processo de destilação assistido por micro-ondas: temperatura de aquecimento (99°C), taxa de aquecimento (15°C/min) e patamar de tempo de destilação após atingir temperatura de 99°C de 3 minutos.

Na Figura 35, estão representados os comportamentos cinéticos (tempo de destilação x ensaios de destilação) das misturas Mr_1 , Mr_2 , Mr_3 , Mr_4 e Mr_5 de cinco ensaios de amostras de 550 mL alimentados em ambos os sistema de destilação (convencional e assistido por micro-ondas).

Os tempos de destilação referentes aos ensaios desenvolvidos no microdestilador de etanol convencional com capacidade para 42 mL, supondo alimentação de 550 mL, foram determinados através da seguinte equação:

$$T_d = F_c \times T_o \quad (5.2)$$

Onde, T_d o tempo de destilação, F_c o fator de proporcionalidade ($550 \text{ mL} / 42 \text{ mL} = 13$) e T_o o tempo de destilação da amostra a 42 mL.

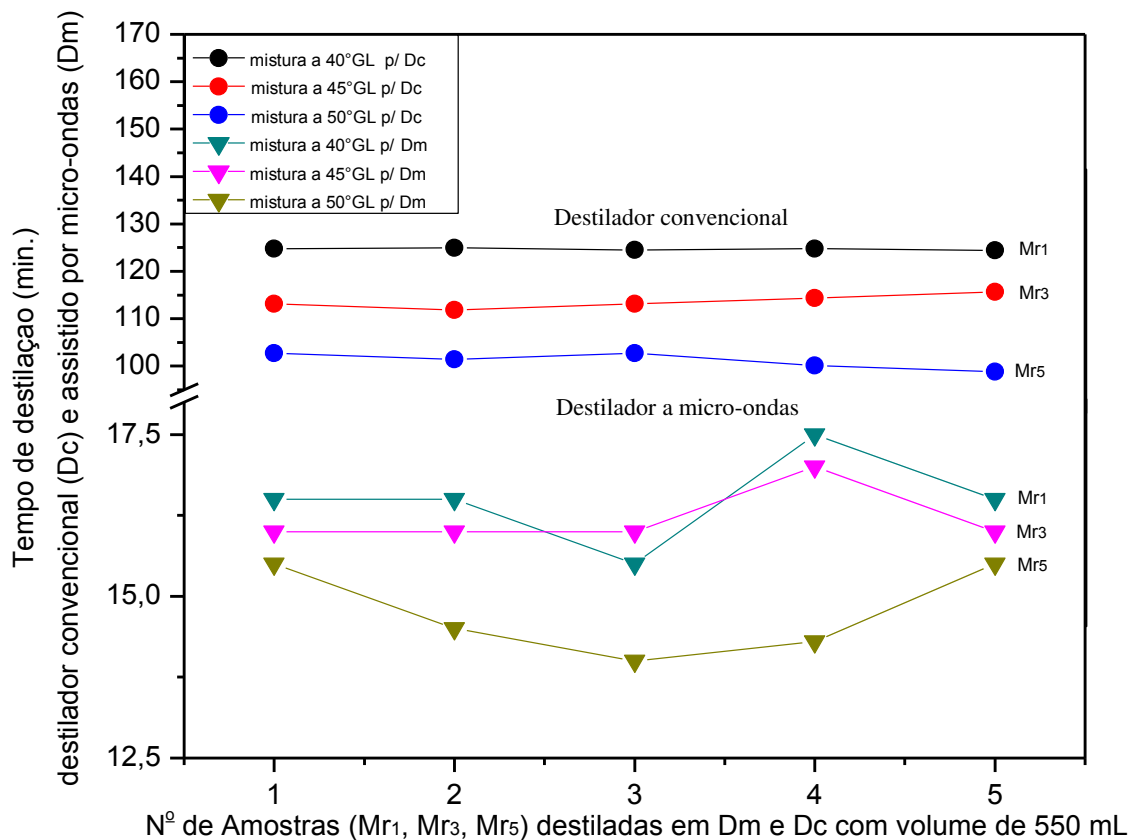


Figura 35 - Cinética da destilação (tempo de destilação x amostra de 500 mL) das misturas usando microdestilador de etanol convencional e microdestilador assistido por micro-ondas

Pequenas variações nos tempos de destilação foram observadas nos ensaios desenvolvidos quando se usa microdestilador de etanol assistido por micro-ondas, Figura 35. Como as destilações foram realizadas sucessivamente sem estabilização de temperatura do material (resíduos) e do meio, e a temperatura do material e do meio segundo a literatura, quando se usa radiação micro-ondas como fonte de aquecimento, influencia no tempo de aquecimento do material, era de se esperar essas pequenas discrepâncias nos tempos de destilação.

Na Figura 36 estão apresentados a soma dos tempos referentes aos 10 ensaios de destilação para cada mistura de resíduo (Mr₁, Mr₂, Mr₃, Mr₄ e Mr₅) com volume de 42 mL desenvolvidos no microdestilador de etanol convencional.

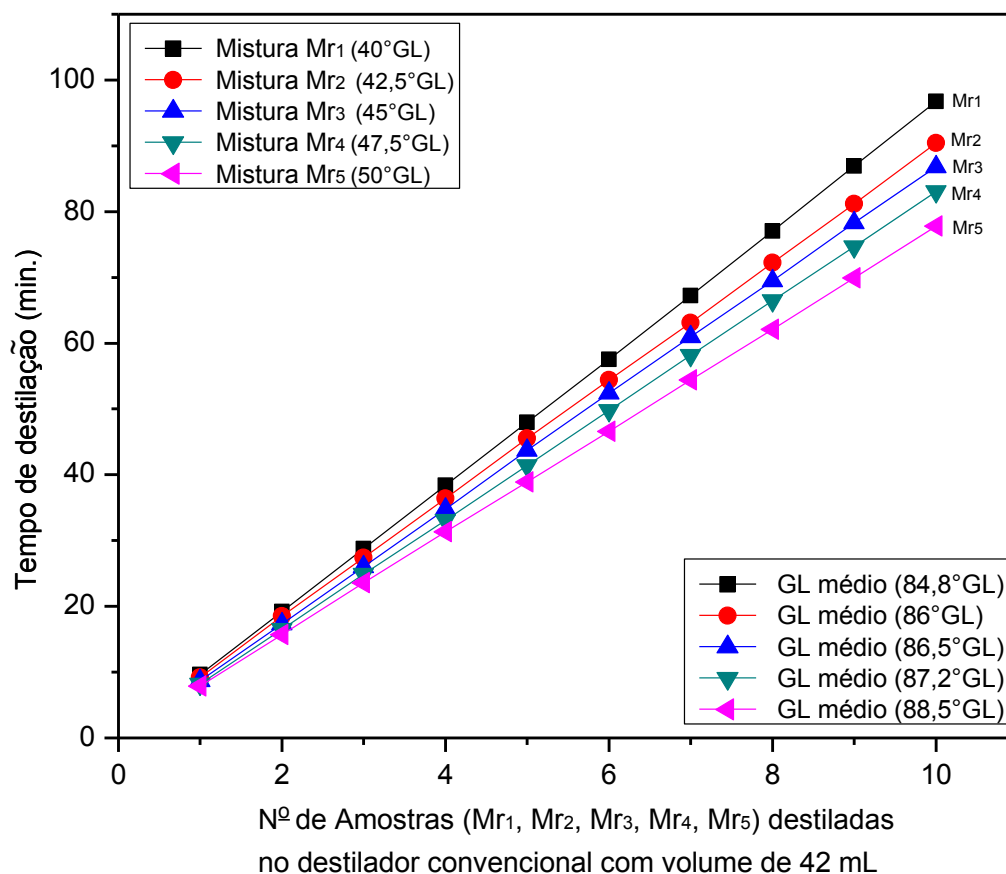


Figura 36 - Tempo total de destilação das misturas x número de ensaios no microdestilador de etanol convencional

Observa-se na Figura 36 que o tempo total de destilação (soma dos tempos) referentes as 10 amostras de misturas (Mr₁, Mr₂, Mr₃, Mr₄ e Mr₅) usando microdestilador de etanol convencional, diminui em função da graduação das misturas, mas, apresentam valores de tempo de destilação praticamente os mesmo (similares) mostrando-se assim, uma padronização de tempo de destilação para um mesmo tipo de mistura.

Na Figura 37 estão apresentados a soma dos tempos referentes aos 05 ensaios de destilação para cada mistura de resíduo (Mr₁, Mr₂, Mr₃, Mr₄ e Mr₅) com volume de 550 mL desenvolvidos no microdestilador de etanol assistido por micro-ondas.

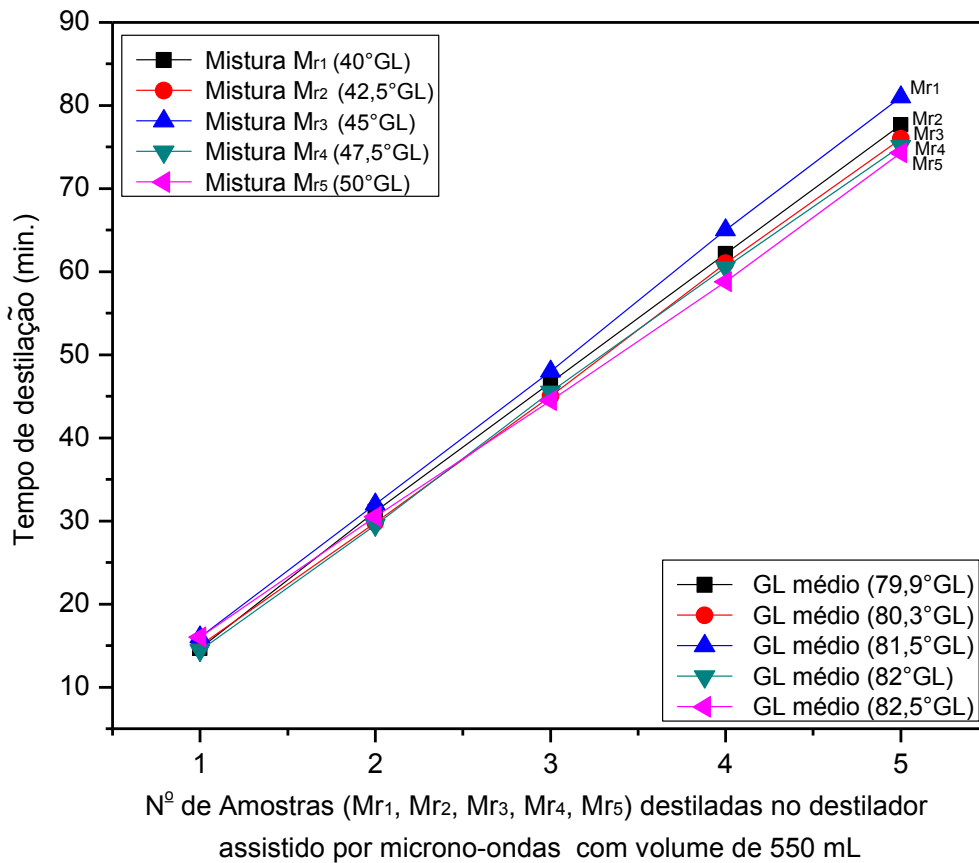


Figura 37 - Tempo total de destilação das misturas x ensaios no microdestilador de etanol assistido por micro-ondas

Observa-se na Figura 37 que o tempo total de destilação (soma dos tempos) referentes as 5 amostras de misturas (Mr₁, Mr₂, Mr₃, Mr₄ e Mr₅) usando microdestilador assistido por micro-ondas, diminui em função da graduação das misturas, mas, apresentam os valores muito próximo um do outro (similares), definindo assim para o processo de destilação, tempo e taxa de aquecimento padrão.

A cinética de destilação (tempo x amostras) para ambos os microdestiladores apresentaram comportamento semelhantes, portanto, definido padrões de processo.

Comparando os resultados obtidos da extração de etanol dos resíduos (cabeça e cauda) por destilação assistido por micro-ondas, com os dos trabalhos científicos citados na revisão bibliográfica (uso de micro-ondas associado à secagem convencional, extração de óleos vegetais a partir de resíduos e de culturas oleaginosas usando radiação micro-ondas associada a vapor, determinação do teor de umidade de milho usando micro-ondas como agente de aquecimento e produção de biodiesel de óleo de frituras utilizando com agente de aquecimento radiação micro-ondas), verifica-se que, além do desenvolvimento do equipamento (microdestilador de etanol assistido por micro-ondas), vários parâmetros físicos que definem a eficácia e eficiência de processo de destilação foram definidos.

Diante dos parâmetros definidos (tempo ótimo de destilação, taxa ideal de aquecimento, rendimento de processo, quantidade a ser extraída de impurezas para purificação do produto final, economia de energia e custo/benefício), a pesquisa vem contribuir com um diferencial técnico e econômico para subsidiar novos trabalhos usando micro-ondas como agente de aquecimento em nível laboratorial.

Para obtenção do etanol gel a 70°INPM (76°GL) usando etanol líquido 85°GL e a 80°GL oriundo dos resíduos, foram desenvolvidas duas formulações químicas tendo como referência a formulação para preparação de álcool gel tradicional, ver Tabela 4.

5.5 - Caracterização físico-química do etanol líquido e gel obtido dos resíduos por destilação convencional e destilação assistida por micro-ondas

Os resultados de caracterização do etanol extraídos dos resíduos pelos dois processos de destilação, mostraram similaridade entre si e boa aproximação com relação às especificações técnicas do etanol neutro fabricado em destilaria de álcool, mostrando assim que, o etanol gel obtido com álcool derivados dos resíduos tem o mesmo potencial antisséptico do álcool gel tradicional. Do ponto de vista de graduação alcoólica, diferente do álcool neutro de destilaria a 96°GL, o etanol líquido obtido dos resíduos a 80°GL e 85°GL pelos métodos de destilação convencional e assistido por micro-ondas respectivamente, apresentaram graduações requeridas para preparação do etanol gel e todos os outros parâmetros físico-químicos ficaram na faixa das especificações determinada pela ANVISA.

A Tabela 15 apresenta as características do etanol líquido a 85°GL e 80°GL obtido dos resíduos por destilação convencional e assistida por micro-ondas respectivamente, e do etanol líquido neutro tradicional a 96°GL.

Tabela 15 - Características do etanol obtido dos resíduos e do etanol tradicional

Parâmetros analisados no etanol	Etanol líquido dos resíduos a 85°GL (*)	Etanol líquido dos resíduos a 80°GL (**)	Etanol tradicional
Aspecto	Límpido	Límpido	Límpido
pH	6,9	7,0	6,5 – 7,5
Acidez	12 mg/L	13 mg/L	10 mg/L
Ésteres (acetato de etila)	5 mg/L	6,5 mg/L	5 mg/L
Aldeídos (Aldeído acético)	7 mg/L	8,2 mg/L	5 mg/L
Álcool isoamílico	6,5 mg/L	7,3 mg/L	5 mg/L
N butanol	8 mg/L	9 mg/L	8 mg/L
Metanol	13 mg/L	14,3 mg/L	10 mg/L

(*) - Etanol extraído no microdestilador de etanol convencional

(**) - Etanol extraído no microdestilador assistido por micro-ondas

Na Tabela 15, observa-se que todos os resultados dos parâmetros analisados referente ao etanol líquido a 85°GL e 80°GL, extraído dos resíduos (cabeça e cauda) no microdestilador convencional e assistido por micro-ondas, apresentam valores muito próximos, semelhantes aos valores encontrados para o etanol líquido tradicional recomendado pela ANVISA à preparação do etanol gel antisséptico.

A Tabela 16 apresenta as especificações técnicas do etanol gel antisséptico obtido a partir do etanol a 85°GL e 80°GL extraído dos resíduos (cabeça e cauda) por destilação convencional e a assistida por micro-ondas respectivamente. Do ponto de vista de qualidade, o álcool gel obtido com o etanol extraído ndos resíduos da fabricação de cachaça é tecnicamente igual ao etanol gel tradicional.

Tabela 16 - Características do etanol gel obtido dos resíduos (cabeça e cauda) e do etanol gel tradicional

Parâmetros analisados	Etanol gel obtido dos resíduos com álcool a 85°GL	Etanol gel obtido dos resíduos com álcool a 80°GL	Etanol gel Tradicional obtido com álcool a 96°GL
Aspecto	Límpido	Límpido	Límpido
Grau alcoólico (°INPM)	70	70	70
pH	6,9	7,0	6,5 – 7,5
Cor	Incolor	Incolor	Incolor
Odor	Característico do etanol	Característico do etanol	Característico do etanol
Viscosidade (cPs)	5500	5500	5500 – 8500
Densidade (g / mL)	0,91	0,915	0,9

5.6 - Custo/benefício de obtenção de etanol gel antisséptico obtido a partir dos resíduos (cabeça e cauda) em relação ao etanol gel tradicional

A Tabela 17 apresenta a planilha dos custos com material de consumo e os respectivos valores unitários dos componentes químicos, para produzir 100 kg de etanol gel antisséptico tradicional.

Os preços dos componentes químicos (matérias-primas) citados nas formulações para obtenção de etanol gel tradicional e etanol gel a partir dos resíduos, foram pesquisados no mercado fornecedor de produtos químicos, conforme fontes indicadas na Tabela 17.

Tabela 17 - Custo com material de consumo para produzir 100 kg de etanol gel antisséptico tradicional (EGA) a 70°INPM

Item	Componentes	Unid.	Quant.	Valor Unit. (R\$)	Total (R\$)
01	Etanol líquido 96°GL	L	70	3,50	245,00
02	Carbopol 676	Kg	0,70	90,0	63,00
03	Água deionizada	L	28,4	0,009	0,256
04	Trietanolamina	L	0,33	12,00	3,96
05	Glicerina	L	0,3	15,00	4,5
06	Embalagem plástica	500 mL	200	0,90	180
					R\$ 496,72

FONTES: CRISTAL COMÉRCIO DE PRODUTOS QUÍMICO LTDA
<http://www.casadosaboeiro.com.br>

Cálculo de custo:

Custo total com material de consumo para obtenção de 100 kg de álcool gel tradicional usando etanol líquido neutro a 96°GL produzido em destilaria de álcool = R\$ 496,72

Custo / kg de etanol gel = R\$ 496,72 / 100 kg = R\$ 4,967 (R\$ 4,97 / kg)

Custo / kg de etanol gel (US\$) = R\$ 4,97 / (1,95 US\$ / R\$) = 2,58 US\$

1 US\$ = R\$ 1,95 R\$ em dezembro de 2012.

A Tabela 18 apresenta a planilha com os custos de todo o material de consumo e os respectivos valores unitários em R\$ (real) dos componentes químicos (etanol, carbopol, água deionizada, trietanolamina e glicerina) para produzir 100 kg de etanol gel antisséptico obtido com etanol líquido extraído dos resíduos a 85°GL no microdestilador de etanol convencional.

Tabela 18 - Custo com material de consumo para produzir 100 kg de etanol gel antisséptico (EGA) a 70°INPM usando etanol líquido a 85°GL extraído dos resíduos (cabeça e cauda) no microdestilador de etanol convencional

Item	Componentes	Unid.	Quant.	Valor Unit. (R\$)	Total (R\$)
01	Etanol líquido 85°GL	L	90	0,40	36
02	Carbopol 676	Kg	0,63	90,0	56,7
03	Água deionizada	L	9,05	0,009	0,081
04	Trietanolamina	L	0,17	12,00	2,04
05	Glicerina	L	0,15	15,00	2,25
06	Embalagem plástica	500 mL	200	0,90	180
					R\$ 277,07

FONTES: CRISTAL COMERCIO DE PRODUTOS QUÍMICO LTDA
<http://www.casadosaboeiro.com.br>

Cálculos:

Quantidade de etanol obtido dos resíduos a 85°GL:

1 litro de resíduo gera 0,45 x 1,15 litro de etanol a 85°GL = 0,517 L de etanol

onde: 0,45 (°GL médio da misturas) e 1,15 (fator: 100°GL p/ 85°GL)

Custo do litro de etanol líquido a 85°GL oriundo dos resíduos:

Custo do litro de etanol a 85°GL = (R\$ 0,21 / L) / 0,517 L = R\$ 0,40 / L

Custo total com material de consumo para obtenção e 100 kg de álcool gel usando etanol oriundo dos resíduos a 85°GL = R\$ 277,07

Custo / kg de etanol gel = R\$ 277,07 / 100 kg (R\$ 2,77 / kg)

Custo / kg de etanol gel (US\$) = R\$ 2,77 / (1,95 US\$ / R\$) = 1,42 US\$

US\$ = R\$ 1,95 R\$ em dezembro de 2012.

A Tabela 19 apresenta a planilha dos custos com material de consumo para produzir 100 kg de etanol gel antisséptico obtido com etanol líquido extraído dos resíduos a 80°GL.

Tabela 19 - Custo com material de consumo para produzir 100 kg de etanol gel Antisséptico (EGA) a 70°INPM usando etanol a 80°GL extraído dos resíduos (cabeça e cauda) no microdestilador de etanol assistido por micro-ondas

Item	Componentes	Unid.	Quant.	Valor Unit. (R\$)	Total (R\$)
01	Etanol líquido 80°GL	L	96,2	0,38	36,55
02	Carbopol 676	kg	0,64	90,0	56,7
03	Água deionizada	L	2,84	0,009	0,025
04	Trietalonamina	L	0,17	12,00	2,04
05	Glicerina	L	0,15	15,00	2,25
06	Embalagem plástica	500 mL	200	0,90	180
					R\$ 277,57

FONTES: CRISTAL COMERCIO DE PRODUTOS QUÍMICOS LTDA
<http://www.casadosaboeiro.com.br>

Cálculos:

Quantidade de etanol líquido a 80°GL obtido dos resíduos:

1 L de resíduo gera 0,45 x 1,20 L de etanol a 80°GL = 0,54 L de etanol

Custo do litro de etanol líquido a 80°GL oriundo dos resíduos:

Custo do litro de etanol líquido a 80°GL = (R\$ 0,21 / L) / 0,54 L = R\$ 0,38 / L

Custo total com material de consumo para obtenção e 100 kg de álcool gel usando etanol líquido oriundo dos resíduos a 80°GL = R\$ 277,57 (Tabela 4.9)

Custo / kg de etanol gel = R\$ 277,56 / 100 kg = R\$ 2,77 / kg (R\$2,78)

Custo / kg de etanol gel (US\$) = R\$ 2,78 / (1,95 US\$ / R\$) = 1,43 US\$

onde: 1 US\$ = R\$ 1,95 R\$ em dezembro de 2012.

Considerando o custo por litro dos resíduos igual a R\$ 0,21 e os custos do etanol líquido a 85°GL e 80°GL a R\$ 0,40 / L e R\$ 0,38 / L respectivamente, verifica-se por meio da Equação 4.10 $\{EC = 1 - (CUR /CUT)\}$ uma economia de custo de 44,2% e 44% na obtenção do etanol gel oriundos dos resíduos em relação ao do etanol gel tradicional.

Economia de custo de obtenção do EGA usando etanol a 85°GL oriundo dos resíduos:

$$EC = 1 - (R\$ 2,77 / R\$ 4,97) = 0,442 (44,2\%)$$

Economia de custo de obtenção do EGA usando etanol a 80°GL oriundo dos resíduos:

$$EC = 1 - (R\$ 2,78 / R\$ 4,97) = 0,44 (44\%)$$

A Figura 38 apresenta a comparação de custos com material de consumo na obtenção do etanol gel antisséptico tradicional produzido com álcool oriundo de destilaria a 96°GL e etanol gel antisséptico obtido dos resíduos com etanol líquido a 85°GL e 80°GL.

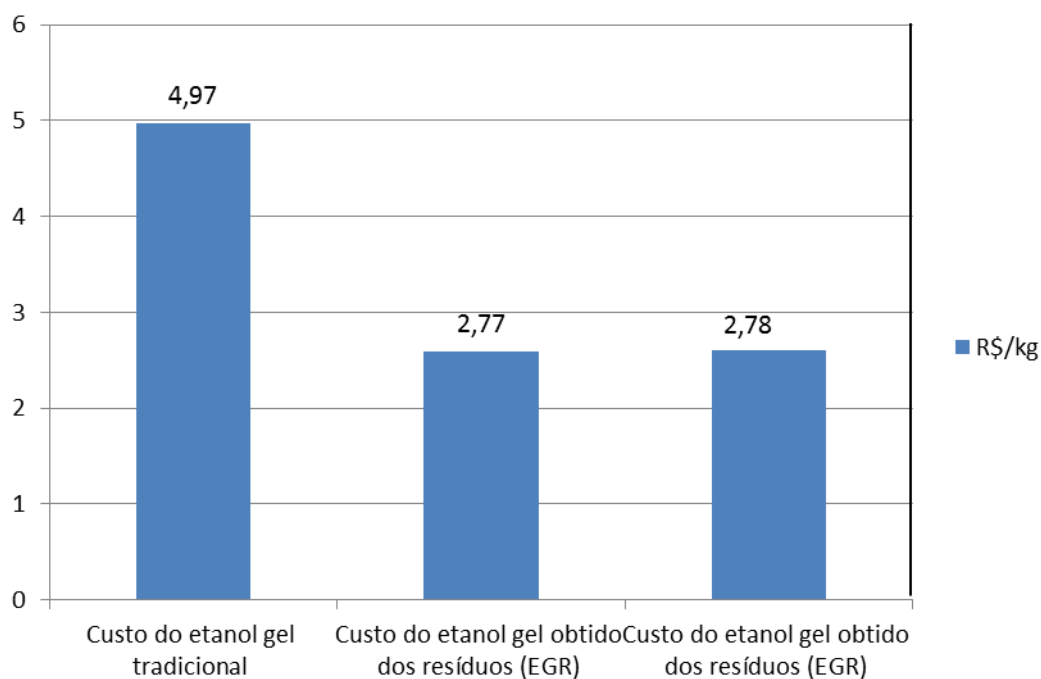


Figura 38 - Comparação dos custos unitários/kg de etanol gel antisséptico

A Figura 38 mostra que, o custo de produção do EGA Tradicional é de R\$ 4,97/kg, enquanto que a sua produção a partir dos resíduos cai para R\$ 2,77/kg e R\$ 2,78/kg quando se usa o etanol líquido a 85°GL e 80°GL obtidos no microdestilador tradicional e no microdestilador assistido por micro-ondas respectivamente.

Considerando que na alternativa tradicional o maior custo com a produção de EGA corresponde ao etanol neutro a 96°GL oriundo de destilaria (49,2%), e por este motivo, o torna inacessível principalmente às classes de baixa renda, as alternativas de produção do EGA com uso dos resíduos da cachaça representariam uma expressiva redução nos custos, já que a sua participação cai para ao redor de 8% nas duas tecnologias.

A alternativa de produção do EGA usando o microdestilador assistido por micro-ondas em nível laboratorial tem o benefício adicional de diminuição de consumo de energia e a não emissão de dióxido de carbono, que também, teria que ser quantificada numa análise da viabilidade econômica de investimentos.

Destaca-se também, nessa análise de custo/benefício, a real possibilidade de melhorar a lucratividade do engenho e sua competitividade, haja vista que, apresenta-se uma alternativa técnica para agregar valor aos resíduos (cabeça e cauda).

Com o aproveitamento dos resíduos os engenhos poderão lançar no mercado um etanol gel com qualidade idêntica ao tradicional, mas, com preço expressivamente menor do que o estimado nesse trabalho, pois, a cabeça e cauda para os fabricantes de cachaça não proporciona lucro significativo.

Do ponto de vista de acessibilidade ao etanol gel produzido com os resíduos da cachaça, seguramente, por apresentar um preço menor e haver possibilidade de ser produzido em varias regiões, teremos um ganho de qualidade de saúde para população, principalmente as de baixa renda.

Considerando a informação do proprietário do Engenho Triunfo em que a produção média diária na safra de 2012 foi 6000 litros/dia de cachaça, teríamos na prática em média, $20\% \times 6000 \text{ litros/dia} = 1200 \text{ litros/dia}$ de resíduos (cabeça e cauda) produzidos. Com o auxílio da Tabela 18 e com os dados de entradas e saída do processo de destilação (grau alcoólica da mistura e graduação do etanol destilado), pode-se calcular a quantidade de EGA que poderia ser produzido no engenho Triunfo a partir de etanol a 85°GL.

Cálculos:

90 L de etanol a 85°GL 100 kg de EGA

1200 L x 0,45 x 1,15.....X = 690 kg de EGA

Onde: 0,45 - graduação alcoólica média da mistura (cabeça e cauda), 1,15 - fator correspondente ao percentual de água no etanol.

No caso do engenho Triunfo e considerando os dados da safra de 2012, poderia se produzir: 690 kg de EGA / dia.

5.6.1 - Mensuração e comparação do consumo de energia dos processos de destilação

As Tabelas 20 e 21 apresentam o consumo de energia em kwh determinado com o analisador de qualidade de energia para em ambos microdestiladores.

Tabela 20 - Consumo de energia em kwh no microdestilador convencional (**Cdc**)

Destilação	Tempo	Consumo
Vol. = 42 ml	(min.)	(kwh)
1ª Destilação	8,9	0,042
2ª Destilação	8,8	0,042
3ª Destilação	8,8	0,042
4ª Destilação	8,7	0,042
5ª Destilação	8,6	0,043
6ª Destilação	8,6	0,041
7ª Destilação	8,8	0,042
8ª Destilação	8,9	0,044
9ª Destilação	8,8	0,042
10ª Destilação	8,7	0,040

Tabela 21 - Consumo de energia em kwh no microdestilador a micro-ondas (**Cdm**)

Destilação	Tempo	Consumo
Vol. = 550 ml	(min.)	(kwh)
1ª Destilação	15,4	0,273
2ª Destilação	15,3	0,275
3ª Destilação	15,1	0,272
4ª Destilação	15,1	0,277
5ª Destilação	15,2	0,273
6ª Destilação	15,3	0,274
7ª Destilação	15,1	0,278
8ª Destilação	15,1	0,273
9ª Destilação	15,4	0,273
10ª Destilação	15,0	0,273

Cálculo e custo/benefício relativo a energia consumida nos dois microdestiladores de etanol (destilador convencional e destilador assistido por micro-ondas) para alimentação de amostra (mistura de resíduos) de 40 mL e 550 ml respectivamente nos destiladores, ou seja, 1:13 a relação de volume:

Cálculos:

Microdestilador convencional

Média de consumo (M_c) = $\sum C_{dci} / 10$, onde: $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$

$M_c = 0,0417$ kwh

Para se destilar 550 mL de mistura de resíduos no microdestilador convencional gasta-se
 $550 \text{ mL} / 42 \text{ mL} \times 0,0417 \text{ kwh} = 0,546 \text{ kwh}$

Microdestilador assistido por micro-ondas

Média de consumo (M_c) = $\sum C_{dci} / 10$, onde: $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$

$M_c = 0,277$ kwh

Custo/benefício de economia de energia: microdestilador de etanol convencional x microdestilador assistido por micro-ondas (E_c):

$$E_c = 1 - C_{dc} / C_{dm} \quad (5.3)$$

Onde, C_{dc} e C_{dm} é a média dos consumos de energia (kwh) para 10 destilações de 550 mL de amostra desenvolvidas no microdestilador convencional e microdestilador assistido por micro-ondas respectivamente.

$$E_c = 1 - 0,277/0,546 = 0,499 \text{ (49,9\%)}$$

O percentual de 49,9% representa a economia de energia que se obtém quando usamos o microdestilador de etanol assistido por micro-ondas em relação ao microdestilador convencional para um mesmo volume de mistura de resíduos a destilar.

6 - CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos neste trabalho com o aproveitamento dos resíduos (cabeça e cauda) oriundos do processo de fabricação de cachaça para a obtenção de etanol gel antisséptico, podemos concluir que:

- A caracterização dos resíduos (cabeça e cauda) e o do etanol extraído dos resíduos por destilação convencional e assistido por micro-ondas, apresentaram resultados semelhantes aos publicados em literatura especializada e fornecidos pelos engenhos;

- A temperatura ideal para se destilar as misturas dos resíduos (Mr1 - 40°GL, Mr2 - 42,5°GL, Mr3 - 45°GL, Mr4 - 47,5°GL e Mr5 - 50°GL) em ambos destiladores (convencional e assistido por micro-ondas) e se obter etanol a 85°GL e 80°GL respectivamente é de 99°C - 100°C;

- As cinéticas dos processos de destilação das misturas dos resíduos (Mr1 - 40°GL, Mr2 - 42,5°GL, Mr3 - 45°GL, Mr4 - 47,5°GL e Mr5 - 50°GL) em ambos destiladores, apresentaram resultados significativos e consistentes em termos de graduação alcoólica de etanol (85°GL e 80°GL) para fins de preparação de álcool gel antisséptico, bem como, rendimentos que garantem a viabilidade técnica do aproveitamento dos resíduos;

- A quantidade de impurezas voláteis (Iv) que deve ser extraída da mistura (cabeça e cauda) a destilar, como primeira fração do destilado para condicionar o etanol líquido extraído dos resíduos à etanol neutro, deverá ser $10\% \geq Iv \geq 5\%$ do volume calculado para o destilado;

- A destilação dos resíduos (cabeça e cauda) usando microdestilador de etanol assistido por micro-ondas para extração de etanol, mostrou expressiva vantagem em relação a destilação convencional no que diz respeito aos seguintes parâmetros: menor tempo de destilação, maior taxa de aquecimento, menor consumo de energia e produção mais limpa;

- O custo/benefício (gastos com material de consumo e economia de energia) de obtenção do etanol gel antisséptico usando álcool extraído dos resíduos (cabeça e cauda) mostrou expressiva vantagem econômica em relação ao etanol produzido tradicionalmente;
- O processo de obtenção de etanol gel antisséptico, usando etanol líquido extraído dos resíduos por destilação convencional, apresenta-se do ponto de vista de aproveitamento dos resíduos para os engenhos de cachaça, como uma alternativa técnica mais viável e fácil de ser implementada para agregar valor a cadeia produtiva da cachaça, ou seja, maior lucratividade e competitividade;
- O desenvolvimento do microdestilador assistido por micro-ondas nos mostrou uma nova concepção de destilação em nível laboratorial, com menor tempo de processo, menor consumo de energia, menor custo, produção mais limpa e grande possibilidade de implantação em escala industrial;
- Do ponto de vista social, a implementação do processo de obtenção de etanol gel antisséptico a partir dos resíduos (cabeça e cauda) usando destilação convencional, proporcionará mais emprego e renda tanto em nível industrial como no mercado fornecedor.

7 - CONTRIBUIÇÕES

- A presente pesquisa apresenta como contribuição ao segmento produtor de cachaça de alambique, a oportunidade de se produzir álcool gel a um preço muito abaixo do que os praticados no mercado, promovendo assim, maior acessibilidade da população de baixa renda ao produto;

- Quanto ao desenvolvimento científico, a oportunidade de se desenvolver pesquisas usando o microdestilador de etanol assistido por micro-ondas, voltadas para extração de substâncias voláteis de misturas diversas, para obtenção de produtos de alto valor agregado, e com possibilidade de extrapolação de escala laboratorial para industrial;

- Do ponto de vista ambiental, a pesquisa mostra a possibilidade de se produzir etanol líquido, etanol gel e outros produtos em nível laboratorial sem emissão de CO_2 na atmosfera, haja vista que, no processo de destilação assistido por micro-ondas não há queima de combustível para geração de calor;

- Quanto à tecnologia desenvolvida (microdestilador assistido por micro-ondas), consolidada em nível laboratorial e a ser disponibilizada para uso de pesquisa, espera-se em pouco tempo, estarmos patenteando o invento, contribuindo assim, para o rol de patentes desenvolvidas no Brasil;

- Quanto à contribuição para o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos da UFCG, a tese vem mostrar a sociedade que, o corpo discente e docente do programa tem capacidade não só de desenvolver processos, mas também, de criar equipamentos para atender as necessidades da área laboratorial da Engenharia Química.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Bebidas - ABRABE. Disponível em < <http://www.abrabe.org.br/cachaca.php> >. Acesso em: 15 fev. 2012.

Adolfo Lutz, Métodos Físico-Químicos para Análises de Alimentos, 2005.

ALVES, G. L.; CARDELLO, H. A. M. B.; FARIA, J. B. **Análise sensorial da aguardente de cana recém-destilada submetida a diferentes tratamentos**. In: SIMPOSIO LATINO, 2010.

ALVES, J. G. Minicurso de Produção de Cachaça Artesanal, **III Jornada Acadêmica de Engenharia de Alimentos**, Departamento de Ciências Exatas e Tecnologia Centro Universitário de Belo Horizonte – Unibh, **31/08/04** (www.ea.unibh.br/cachaca.pdf)

ANDRADE , L.A.B. **Cultura da cana-de-açúcar**. IN: Produção artesanal de cachaça de qualidade. Lavras: UFLA, 2003. p. 01-17.

ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). Resolução – RDC No – 42, de 25 de outubro de 2010.

ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/wps/content/ANVISA/Inicio/Saneantes/Assunto+de+Interesse/Orientacoes/9593aa804008523da1aba75e035b7cb>>. Acesso em: 17 fev.2012.

Associação Paraibana de Engenhos de Cana-de-Açúcar da Paraíba ASPECA, 2012. Disponível em: <http://www.slideshare.net/goretel/programa-de-desenvolvimento-da-cachaa-da-paraba> > Acesso em 27 de fev. 2012.

BARACHO, T. H. A. , Proprietário do Engenho Triunfo - Município de Areia – Paraíba

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto No. 4.062 de 21 de dezembro de 2001. **Diário Oficial**, Brasília, 21 de dezembro de 2001.

BUFFLER, C.R. Introduction to microwaves. In: BUFFLER, C.R. Microwave cooking and processing: engineering fundamentals for the food scientist. New York: Van Nostrand Reinhold, 1993. Cap..1 p. 1-13.

Brasil - ANVISA. Importância do álcool no controle de infecções em serviços de saúde. Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/servicosaude/controle/controle_alcool.pdf. Acessado em 04 de abril de 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância Sanitária. **Portaria nº 326-SVS/MS de 30 de julho de 1997.** Disponível em ? BRASIL. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância Sanitária. Portaria nº 326-SVS/MS de 30 de julho de 1997.

CARDOSO, M. G. **Produção de Aguardente de Cana.** Lavras: Editora UFLA, 2001.

CLETO, F. V. G.; MUTTON, M. J. R. **Rendimento e qualidade da aguardente de cana produzida utilizando fermento tratado com ácido e fubá de milho.** STAB, Piracicaba, v.16, n.2, p. 38 – 40, nov./dez. 1997.

CLICK, L.R. and BAKER, C.J. **Moisture determinations of agricultural products using a microwave oven.** ASAE Paper nº 80-3050, ASAE, St. Joseph, MI, 1980.

COUTINHO, E.P. Dinâmica da Modernização do Setor de Produção de Aguardente de cana-de-açúcar no Brasil: construindo uma cachaça de qualidade. **Tese doutorado. PEP/COPPE/UFRJ. 2001.**

COUTINHO, E.P. Dinâmica da Modernização do Setor de Produção de Aguardente de cana-de-açúcar no Brasil: construindo uma cachaça de qualidade. **Tese doutorado. PEP/COPPE/UFRJ. 2001**

_____ Decreto no 4.851 de 02 de outubro de 2003. **Diário Oficial,** Brasília, 03 outubro 2003, Seção 1, p 6.

De la Hoz, A.; Diaz-Ortiz, A.; Moreno, A. Microwave in organic synthesis. Thermal and non-thermal microwave effects. *Chem. Soc.Rev.*, v. 34: p.164, 2005.

FERHAT, B. Y.; MELDATI,J.; SMADJAD, F. An improved microwave Clevenger apparatus for distillation of essential oils from orange peel. **Journal of Chromatography A 1112 (2006), pg. 121-126. Article em PDF.**

FORUNY, M.; RAMOS, A. L. D.; DARIVA, C.; EGUES, S.M.S.; FERREIRA A.S. Principais aplicações de microondas na produção e refino de petróleo. *Quim. Nova.* Vol. 31, 2008.

GEDBY, R.N.; SMITH,F.E., and Westaway, K.C. The rapid synthesis of organic compounds in microwave ovens. *Canadian Journal of Chemistry* v. 66, p.17, 1988.

GOLMAKANI, M. T.; REZAEI, K.. Comparison of microwave – assisted hidrodistillation with the traditional hidrodistillation method in extraction of essential oils. **Food Chemistry, v.109, p. 952-930, 2008.**

Governo do Estado de São Paulo. Secretária da Saúde. Manual sobre o uso de antisséptico. Disponível em: [www.uscs.edu.br /...inic.../prof_aparecidade/_e_glauciene_sau_farm.pdf](http://www.uscs.edu.br/...inic.../prof_aparecidade/_e_glauciene_sau_farm.pdf). Acessado em 20 de maio de 2011.

GIASA (GRAMAME INDÚSTRIA DE ÁLCOOL), 2012 - Pedras de Fogo – Paraíba

HEDDLESON, R.A.; DOORES,S. Factors affecting microwave heating of foods and microwave induced destruction of foodborne pathogens – review. *Jornal of Food protection*, v.57 n.11. p.1025-1037, 1994.

Instrução Normativa nº13 de 29/06/2005, publicada em 30/06/2005 no Diário Oficial da União (DOU) (BRASIL, 2005)

JANNEY, M. A.; KIMREY, H. D. **Microwave processing of materials II, Materials Research Society, 215, 1991.**

KINGSTON, H. M.; JASSIE, L. B., eds.; **Introduction to Microwave Samples Preparations, ACS: Washington, 1988.**

KRASZEWSKI, A.W.; NELSON, S.O. e YOU, T.S. **Moisture content determination in single corn kernels by microwave resonator techniques. Newspaper Agric. V. 48, p.77-87, 1991.**

KAPPE, C. O.; DALLINGER, D.; MURPHREE, S. S. *Practical Microwave Synthesis for Organic Chemists: Strategies, Instruments, and Protocols.* Weinheim: Wiley-VCH, 2009.

LEADBEATER, N. E.; STENCEL, L. M. **Fast, easy, preparation of biodiesel using microwave heating, Energy & Fuels, v. 20, p. 22-23, 2006.**

MAIA. F. S. Alternativa para Exportação de Cachaça Artesanal: Um exemplo da Alemanha. **Boletim Agropecuário da Universidade Federal de Lavras, nº, 57.** Disponível no site [HTTP://www.editora.ufla.br/Boletim/pdf/bol_57pdf](http://www.editora.ufla.br/Boletim/pdf/bol_57pdf), acessado em 23 fevereiro 2011.

MACEDO, I.C.; NOGUEIRA, L.A.H., Avaliação da expansão do etanol no Brasil. Brasília: Centro de Gestão e Estudo Estratégico, julho de 2004.

MAIA, A. B. R. A; RIBEIRO, J.C.G.M; SILVEIRA,L.C.I. 1º Curso AMPAQ de **produção artesanal de aguardente de qualidade.** Belo Horizonte: AMPAQ. 1995.

MAIA, A.B. R. A. **Componentes Secundários da Aguardente**. STAB, Piracicaba, v. 12, n.6, p. 29-34, jul./ago. 1994.

MAGALHÃES, J.P; KUPPERMAN, P.; MACHADO, R. C. **Proálcool: uma avaliação global**. Rio de Janeiro: ASTEL, 1991.

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.

MAPA DA CACHAÇA : <http://www.mapadacachaca.com.br/artigos/afinal-o-que-e-cachaca/> >. Acesso em: 25 fev. 2012.

NOVAES, F. V. **Tecnologia da aguardente**. Piracicaba: Centro Acadêmico Luiz de Queiroz, 1970. Programa Brasileiro de Desenvolvimento da Aguardente de Cana, Caninha ou Cachaça - **PBDAC**, São Paulo, 1997. 13p

OLIVEIRA; A.F.; FATIBELLO-FILHO, O. TALANTA, **Determinação de etanol com um destilador de contato para sistema de injeção em fluxo com microondas focalizada na bobina reacional**. 10º ENQA, Santa Maria, RS AF31. 50(1999) 899-904.

OLIVEIRA. J. T. P. Produção de biodiesel por via catalítica e indução de micro-ondas, Bragança, 2008. 60p. Dissertação de mestrado (Pós-graduação em Eng. Química). Escola Superior de Tecnologia e de Gestão de Bragança.

OLIVEIRA, A. F.; FATIBELLO, F.; ORLANDO, D.; MARIA, C. T.; JOAQUIM, A. Determinação de etanol com destilador de contato para sistema de injeção em fluxo com micro-ondas focalizada na bobina reacional . In: 23ª Reunião anual da SBQ, 2000, Poços de Caldas. livro de resumo da 23ª Reunião anual da SBQ, 2000. v. 3. p. qa132-qa132.

_____. **Produção e qualidade da aguardente de cana**. Piracicaba: ESALQ, 1995. Apostila.

ROBERTO, S.; CARLOS, A.B.C. Consultoria REUTERES em 23/03/2010. <http://ultimosegundo.ig.com.br/brasil/producao-de-etanol>. Acesso em 20 jan.2011.

RIBEIRO, J. C.. **Fabricação artesanal de cachaça mineira**. 2a ed. Belo Horizonte: Editora Performance, 2000. 162p.

SANTOS, A. A. M. Higienização das mãos no controle das infecções em serviços de saúde, *Revista de administração em saúde*, Redprint editora, vol 4, abr-jun 2002; 15:10-14.

Sistema de destilação de engenho artesanal modernizante. Disponível em. <http://www.pesquisaweb.com.br/img?q=alambiques&p=2>. > Acesso em 08 de Set.. 2012.

SANSEVERINO A.M. Micro-ondas em síntese Orgânica. *Química Nova*, v.25 n.4, p.660-667, jul., 2002.

SCHWAN,R. F. **Fermentação**. IN: CARDOSO, M. G. **Produção de aguardente de cana-de-açúcar**. Lavras: UFLA, 2001.

Santos A. A. M.; Verotti M.P., Sanmartin J.A.; Meslano ERAB. Importância do álcool no controle de infecções em serviços de saúde. *Rev. Adm. Saúde* 2002; 4(16): 7-14.

SILVA, F. A.; FERREIRA, A.D.: SOUSA, F.G. Microwave assisted drying of macadamia nuts. **Journal of Food Engineering**, v.77. n. 3.p.550-558. 2006.

SOUZA, G.B.; NOGUEIRA, A.R.A.; RASSINI, J.B. **Determinação de matéria seca e umidade em solo e plantas com forno de microondas doméstico**. Circular Técnica, Embrapa Pecuária Sudeste, n. 42, p. 12 – 22. 2002.

THOSTENSON, E. T.; CHOU, T. W. **Microwave processing: fundamental and applications**. **Applied Science and Manufacturing**, v.30, p. 9, 1999.

VALENTINI, S. R. T. ; CASTRO, M. F. P. Determinação do teor de umidade em milho utilizando aparelho de microondas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* [on line]. 1991, vol. 18, n.2, p. 237-240.

VALSENCHI, O. **Aguardente de cana-de-açúcar**. 4o ed. São Paulo: Livro ceres, 1960.

VARNAM, A.; SUTHERLAND, J. **Bebidas, tecnologia, química, microbiologia. Zaragoza: Editorial Acribia, 1997.**

VILELA, A. F. Estudo da adequação de critérios de boas práticas de fabricação na avaliação de fabricas de cachaça de alambique. 2005. 95 f. **Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos)** – Faculdade de Farmácia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

YOKOYA, F. **Fabricação de aguardente de cana**. Campinas: Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia “Andre Tosello”, 1995. (serie fermentação industrial).

APÊNDICE

Formulação química (F1) - Formula de preparação de etanol gel antisséptico usando álcool etílico a 85°GL oriundo dos resíduos (cabeça e cauda)

Componentes	Quantidades
▪ Etanol líquido a 85°GL	90 %
▪ Carbopol 676	0,63 %
▪ Água deionizada	9,05 %
▪ Trietalonamina	0,17 %
▪ Glicerina	0,15%

Formulação química (F2) - Formula de preparação de etanol gel antisséptico usando álcool etílico a 80°GL oriundo dos resíduos (cabeça e cauda)

Componentes	Quantidades
• Etanol líquido 80°GL	96,24 %
• Carbopol 676	0,64 %
• Água deionizada	2,82 %
• Trietalonamina	0,19 %
• Glicerina	0,15%

Cálculo do rendimento do processo de destilação convencional (Rd):

$$Rd = (V_n \times \text{°GL}_n) / V_a \times \text{°GL}_a \times 0,96 \quad (4.1)$$

Destilação da mistura a 40°GL:

$$Rd = 15,96 \text{ mL} \times 0,848 / 42 \text{ mL} \times 0,40 \times 0,96 = 84\%$$

Destilação da mistura a 42,5°GL:

$$Rd = 16,96 \text{ mL} \times 0,86 / 42 \text{ mL} \times 0,425 \times 0,96 = 85,1\%$$

Destilação da mistura a 45°GL:

$$Rd = 17,96 \text{ mL} \times 0,865 / 42 \text{ mL} \times 0,45 \times 0,96 = 85,6\%$$

Destilação da mistura a 47,5°GL:

$$Rd = 18,96 \text{ mL} \times 0,872 / 42 \text{ mL} \times 0,475 \times 0,96 = 86,3\%$$

Destilação da mistura a 50°GL:

$$Rd = 20 \text{ mL} \times 0,885 / 42 \text{ mL} \times 0,5 \times 0,96 = 87,8\%$$

Cálculo do rendimento do processo de destilação convencional (Rd):

Destilação da mistura a 40°GL:

$$Rd = 209 \text{ mL} \times 0,799 / 550 \text{ mL} \times 0,40 \times 0,96 = 79,1\%$$

Destilação da mistura a 42,5°GL:

$$Rd = 222 \text{ mL} \times 0,80 / 550 \text{ mL} \times 0,425 \times 0,96 = 79,5\%$$

Destilação da mistura a 45°GL:

$$Rd = 235,13 \text{ mL} \times 0,815 / 550 \text{ mL} \times 0,45 \times 0,96 = 80,7\%$$

Destilação da mistura a 47,5°GL:

$$Rd = 248 \text{ mL} \times 0,82 / 550 \text{ mL} \times 0,475 \times 0,96 = 81\%$$

Destilação da mistura a 50°GL:

$$Rd = 261,25 \text{ mL} \times 0,825 / 550 \text{ mL} \times 0,5 \times 0,96 = 81,6\%$$

Extrapolação de escala de produção de etanol neutro de nível laboratorial para nível industrial (engenho de cachaça).

A extrapolação de escala (laboratorial p/ industrial) para se obter etanol líquido em nível de engenho de cachaça, pode ser feita segundo o roteiro:

- 1 - Identificar a capacidade produtiva do engenho em litros de cachaça por dia;
- 2 - Calcular a volume dos resíduos (cabeça e cauda) produzidos por dia;
- 3 - Definir o teor alcoólico da mistura a destilar;
- 4 - Calcular o volume de mistura a destilar usando proporção (1:1);
- 5 - Calcular o volume de etanol líquido a ser extraído dos resíduos;
- 6 - Cálculo da quantidade de impurezas a retirar na destilação;
- 7 - Calcular a capacidade do sistema de destilação em litros de etanol / hora

Exemplo: Engenho de cachaça de alambique modernizante

Dados de entrada:

1 - Capacidade produtiva do engenho – supor: 6000 litros / dia de cachaça

2 - Graduação alcoólica dos resíduos: cabeça - 60°GL e cauda - 20°GL

Demonstração da equação para cálculo do volume dos resíduos:

$$V_d = V_r + V_c \quad (1)$$

$$V_r = 0,2 \times V_d \quad (2)$$

Substituindo em (2) em (1) fica:

$$V_d = 0,2 \times V_d + V_c \leftrightarrow V_d = V_c / 0,8$$

Temos que: $V_{cb} = 0,1 \times V_d$

$$V_{cb} = 0,1 \times V_c / 0,8$$

$$V_{cb} = 0,125 \times V_c = V_{cd} \quad (3)$$

Onde: V_d - volume total do destilado, V_{cb} - volume de cabeça, V_{cd} - volume de cauda,
 V_c - volume de cachaça, V_r - volume dos resíduos, V_m - volume da mistura ($cb+cd$)

Caso em estudo:

$$V_{cb} = 0,125 \times 6000 \text{ L / dia} = 750 \text{ L / dia}$$

$$V_{cd} = 750 \text{ L / dia}$$

3 - Cálculo do volume de mistura (V_m) à destilar:

$$\text{Formula: } V_m = V_{cb} + V_{cd}$$

$$V_m = 750\text{L/dia} + 750 \text{ L / dia} = 1500 \text{ L / dia}$$

4 - Cálculo do volume máximo de etanol a ser destilado (V_d):

Supor: graduação alcoólica da mistura ($cb + cd$) = 40°GL

$$V_d = V_m \times \text{GL}_m \times 0,96 \quad (4)$$

Onde: GL_m - grau alcoólico da mistura e 0,96 - fator de azeotropismo

$$V_d = 1500 \text{ L /dia} \times 0,40 \times 0,96 = 576 \text{ L / dia}$$

5 - Cálculo do volume de impurezas (Vi) à retirar como 1ª fração da destilação

$$V_i = V_d \times 5\% \quad (5)$$

$$V_i = 576 \text{ L/dia} \times 0,05 = 28,8 \text{ L/dia}$$

6 - Cálculo do volume de etanol neutro (Vn) destilado

$$V_n = V_d - V_i$$

$$V_n = 576 \text{ L/dia} - 28,8 \text{ L/dia} = 547,2 \text{ L/dia} = 22,8 \text{ L/ hora}$$

7 - Capacidade do sistema de destilação (Cs) em litros de etanol / hora

$$C_s = 576 \text{ L} / 24 \text{ h} = 24 \text{ L} / \text{h}$$

As equações para extrapolação de escala produtiva podem ser aplicadas para qualquer capacidade produtiva de engenhos, considerando qualquer dado quantitativo de retiradas dos resíduos do processo com suas correspondentes graduações alcoólicas.

ANEXO

Formulação para preparação do Etanol Gel Antisséptico tradicional:

Varias formulações são adotadas para preparação de álcool gel antisséptico, abaixo está discriminada uma formulação que se obtém álcool gel dentro das especificações exigidas pela ANVISA.

- Água deionizada - 28,4% (veículo)
- Carbômero - 0,7% (espessante sintético)
- Álcool etílico neutro - 70,27% (usar etanol a 70 °INPM)
- Trietanolamina - 0,33% (regulador de pH)
- Glicerina - 0,3% (emoliente)

Geralmente o etanol neutro produzido em destilaria de álcool apresenta graduação alcoólica média da ordem de 94°GL a 96°GL (94% a 96% volume por volume), portanto, é necessário a diluição com água deionizada para 70°INPM para preparação do etanol gel tradicional.

Especificações técnicas do Etanol Gel Antisséptico:

Aspecto: estado físico (gel alcoólico)

Odor: característico de etanol neutro

Cor: incolor

Densidade: 0,9 g/ml

Grau alcoólico: 70°INPM a 76°INPM

Viscosidade: 5000 cPs - 8000cPs (spindle 4-20 rpm)

pH: 7,0

Fonte: <http://www.luvex.com.br/documentos/solugel.pdf>