

... **Coleção UAB–UFSCar**

..... **Tecnologia Sucroalcooleira**

: **Cláudio Hartkopf Lopes**
: **Afra Vital Matos Dias Gabriel**
: **Maria Teresa Mendes Ribeiro Borges**

: **Produção de etanol a partir da**
: **cana-de-açúcar**

: **tecnologia de produção de etanol**

Produção de etanol a partir da cana-de-açúcar

tecnologia de produção de etanol

**Reitor**

Targino de Araújo Filho

Vice-Reitor

Pedro Manoel Galetti Junior

Pró-Reitora de Graduação

Emília Freitas de Lima

**Secretária de Educação a Distância - SEaD**

Aline Maria de Medeiros Rodrigues Reali

Coordenação UAB-UFSCar

Claudia Raimundo Reyes

Daniel Mill

Denise Abreu-e-Lima

Joice Otsuka

Sandra Abib

Valéria Sperduti Lima

**Coordenador do Curso de
Tecnologia Sucroalcooleira**

Miguel Antonio Bueno da Costa

UAB-UFSCar

Universidade Federal de São Carlos

Rodovia Washington Luís, km 235

13565-905 - São Carlos, SP, Brasil

Telefax (16) 3351-8420

www.uab.ufscar.br

uab@ufscar.br

Cláudio Hartkopf Lopes

Afra Vital Matos Dias Gabriel

Maria Teresa Mendes Ribeiro Borges

Produção de etanol a partir da cana-de-açúcar

tecnologia de produção de etanol

São Carlos



EdUFSCar

2011

© 2011, Cláudio Hartkopf Lopes, Afra Vital Matos Dias Gabriel, Maria Teresa Mendes Ribeiro Borges

Concepção Pedagógica

Daniel Mill

Supervisão

Douglas Henrique Perez Pino

Equipe de Revisão Linguística

Ana Luiza Menezes Baldin

Clarissa Neves Conti

Daniela Silva Guanais Costa

Francimeire Leme Coelho

Jorge Ialanji Filholini

Letícia Moreira Clares

Luciana Rugoni Sousa

Paula Sayuri Yanagiwara

Sara Naime Vidal Vital

Equipe de Editoração Eletrônica

Christiano Henrique Menezes de Ávila Peres

Izis Cavalcanti

Rodrigo Rosalis da Silva

Equipe de Ilustração

Jorge Luís Alves de Oliveira

Lígia Borba Cerqueira de Oliveira

Priscila Martins de Alexandre

Capa e Projeto Gráfico

Luís Gustavo Sousa Sguissardi

..... SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	11
---------------------------	----

UNIDADE 1: Introdução à produção de etanol

1.1 Primeiras palavras	15
1.2 Problematizando o tema	15
1.3 Histórico	15
1.3.1 Destilação	15
1.4 Álcool como espécie química.	16
1.4.1 Aplicações do etanol	17
1.5 Produção de álcool	18
1.6 Álcool no Brasil	18
1.6.1 O Proálcool	19
1.6.2 Situação atual do álcool combustível no Brasil	20
1.7 Tipos de álcool.	20
1.8 Produção e comercialização de álcool	21
1.9 Produção de cana	23
1.10 O futuro do álcool	24
1.11 Estudos complementares.	25
1.12 Considerações finais	25

UNIDADE 2: Processos de fabricação de álcool

2.1 Primeiras palavras	29
2.2 Problematizando o tema	29
2.3 Produção de etanol	29
2.4 Métodos fermentativos	29
2.5 Sacarose	30
2.6 Rendimento da fermentação	30
2.7 Matérias-primas para produção de álcool via fermentação	31
2.7.1 Matéria-prima celulósica	31
2.7.2 Matéria-prima amilácea	32
2.7.3 Etanol de milho	34
2.7.4 Álcool de cana-de-açúcar	36
2.8 Corte, carregamento, transporte e deterioração da cana	38
2.9 Impurezas da cana	39
2.10 Melado e mel final	40
2.11 A produção do etanol de cana	40
2.12 Estudos complementares	41
2.13 Considerações finais	41

UNIDADE 3: Tratamento de caldo e fermentação do mosto

3.1 Primeiras palavras	45
3.2 Problematizando o tema	45

3.3 Tratamento do caldo para a produção de etanol.	45
3.4 Processos de condução da fermentação	48
3.5 Balanço de massa de uma dorna	50
3.6 Balanço de massa da centrifugação do vinho	51
3.7 Considerações finais	56

UNIDADE 4: Fermentação do mosto: aspectos de dimensionamento

4.1 Primeiras palavras	59
4.2 Problematizando o tema	59
4.3 Introdução	59
4.4 Vias metabólicas e balanço energético da fermentação	60
4.5 Dimensionamento das dornas	61
4.6 Refrigeração de dornas	62
4.7 Cálculo de um trocador de calor	64
4.8 Centrífuga de vinho	65
4.9 Tratamento do fermento pré-fermentador	67
4.10 Lavadores de gás	68
4.11 Considerações finais	69

UNIDADE 5: Destilação do etanol

5.1 Primeiras palavras	73
5.2 Aspectos gerais	73
5.3 Gráfico da composição líquido/vapor.	76
5.4 Destilação do álcool etílico.	78
5.5 Destilação contínua	79
5.6 Destilação de álcool	82

UNIDADE 6: Desidratação do etanol

6.1 Primeiras palavras	87
6.2 Álcool anidro	87
6.2.1 Desidratação por meio do processo azeotrópico	88
6.2.2 Desidratação extrativa pelo monoetileno glicol (MEG).	91
6.2.3 Desidratação por peneira molecular.	92
6.2.4 Avaliação dos três processos de desidratação em uso no Brasil . . .	94
6.3 Considerações finais	95

UNIDADE 7: Efluentes da fabricação de álcool e aspectos hídricos

7.1 Primeiras palavras	99
7.2 Problematizando o tema	99
7.3 Vinhaça	99
7.3.1 Composição da vinhaça	101
7.3.2 Vinhaça e o meio ambiente	101
7.3.3 Aplicações da vinhaça	102

7.3.4 Resfriamento da vinhaça	103
7.3.5 Concentração da vinhaça	103
7.3.6 Aplicação da vinhaça na lavoura por veículos tanque	105
7.3.7 Irrigação por aspersão	106
7.3.8 Distribuição de vinhaça por canais.	107
7.4 Demanda de água para a produção de etanol	108
UNIDADE 8: Projeto de uma destilaria de etanol de cana	
8.1 Primeiras palavras	113
8.2 Problematizando o tema	113
8.3 Localização do empreendimento	113
8.3.1 Localização: aspectos agronômicos.	114
8.3.2 Localização do projeto: aspectos logísticos e de infraestrutura . . .	115
8.4 Aspectos ambientais e de zoneamento agrícola.	116
8.5 Capacidade de produção	116
8.5.1 Processo tecnológico a ser adotado: operações preliminares . . .	117
8.5.2 Processo tecnológico a ser adotado: extração do caldo.	118
8.5.3 Processo tecnológico a ser adotado: fermentação e destilação . . .	119
8.6 Dimensionamento dos equipamentos	120
8.6.1 Rendimento industrial em álcool	120
8.6.2 Extração do caldo.	121
8.6.3 Fermentação	123
8.6.4 Destilaria	124
8.7 Armazenagem de etanol.	124
REFERÊNCIAS.	127

APRESENTAÇÃO

O setor sucroalcooleiro no Brasil é responsável por aproximadamente 3% do PIB nacional, do qual parte é em função da produção de açúcar e parte, da produção de etanol. No início dos anos 1930, a indústria de álcool combustível teve o seu primeiro grande crescimento a partir do incentivo governamental que tornou obrigatória a adição de 5% de etanol à gasolina.

Em 1933 foi criado o Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), órgão governamental responsável pelo controle da produção de açúcar e etanol, fixando os preços e os regimes de produção, além do monopólio na comercialização externa do açúcar.

Com a crise do petróleo na década de 1970, em que os preços dos barris atingiram valores bastante elevados, o Brasil importava cerca de 80% de suas necessidades. Dessa forma o país se viu frente a um problema financeiro, pois não dispunha de recursos para aquisição do petróleo no mercado externo. As soluções propostas foram o aumento da produção interna de petróleo e concomitantemente a utilização do etanol como combustível automotivo.

Nesse contexto foi instituído o Programa Nacional do Alcool (Proálcool), em novembro de 1975, que buscava incentivar o aproveitamento e desenvolvimento da tecnologia sucroalcooleira para veículos automotores.

Inicialmente, aumentou-se a porcentagem do etanol em mistura à gasolina, atingindo valores de até 25%. Alguns anos depois, já começaram a ser comercializados veículos movidos exclusivamente a etanol. Problemas de abastecimento do etanol que ocorreram durante a década de 1990 provocaram uma resistência e o abandono do uso de veículos movidos unicamente a etanol.

Na década de 2000 houve uma retomada da produção de etanol em virtude do advento dos veículos bicomcombustíveis, capazes de operar tanto com a gasolina como com o etanol, isoladamente ou misturado em qualquer proporção. Dessa forma a produção de álcool tem se elevado continuamente, ultrapassando 20 bilhões de litros em 2010.