

Universidade de São Paulo – USP

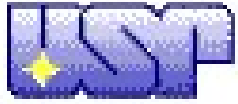
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Esalq
Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição - LAN

LAN 1458 - Açúcar e Álcool

Destilação, retificação e desidratação

Prof. Antonio Sampaio Baptista





1. INTRODUÇÃO

Vinho
(natureza)

líquida

Etanol - 7 a 15 % (v)

Água

outras substâncias (ácidos succínico e acético, glicerina, furfural, álcoois homólogos superiores - amílico, isoamílico, propílico, isopropílico, butílico, aldeído acético, acetato de etila, etc.)

sólida

a) suspensão:

células de leveduras, bactérias

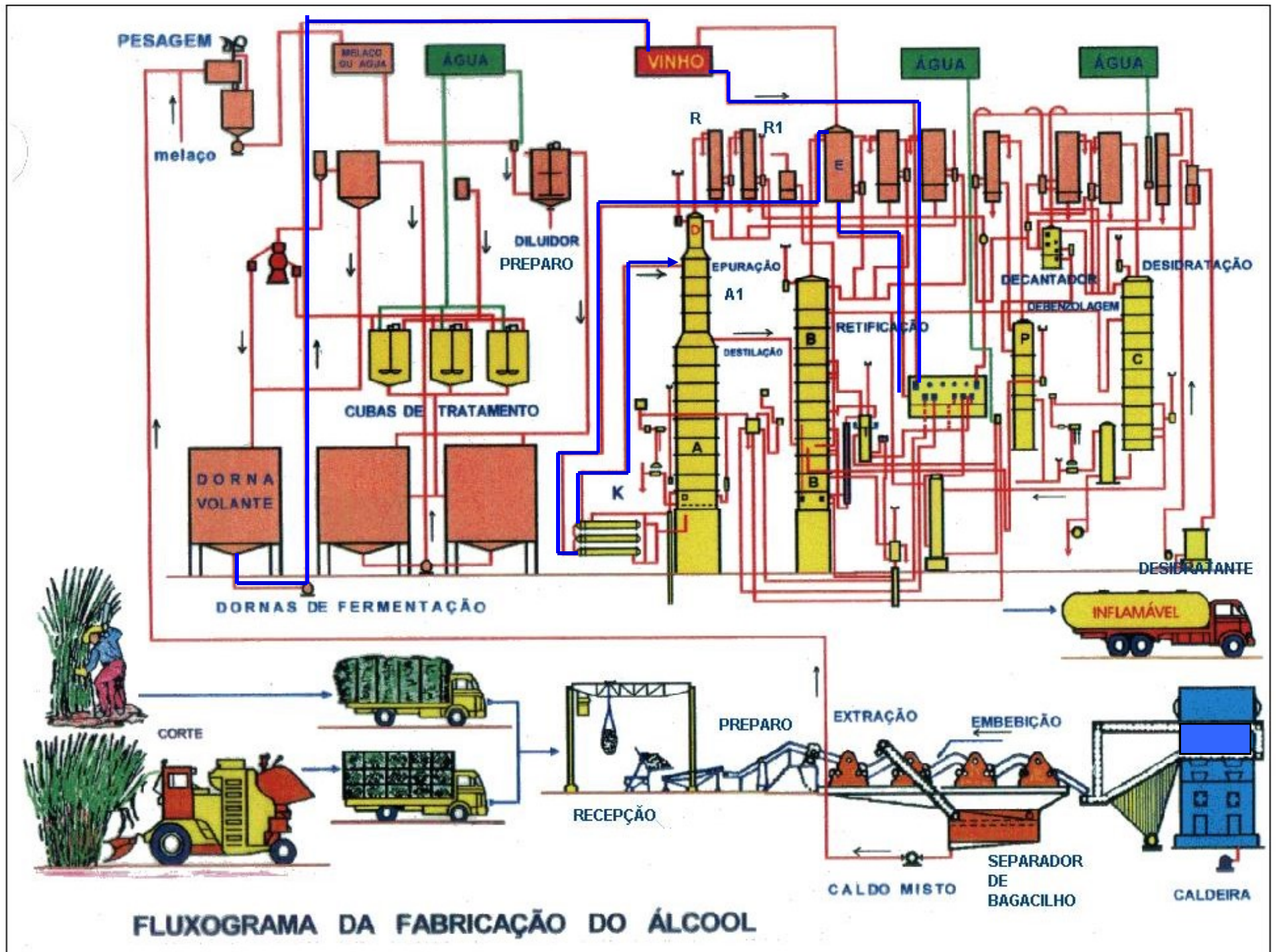
substâncias não solúveis (bagacilho, etc).

b) solução:

açúcares não fermentados, substâncias infermentescíveis, matérias insolúveis, sais minerais, etc.

gasosa

CO₂



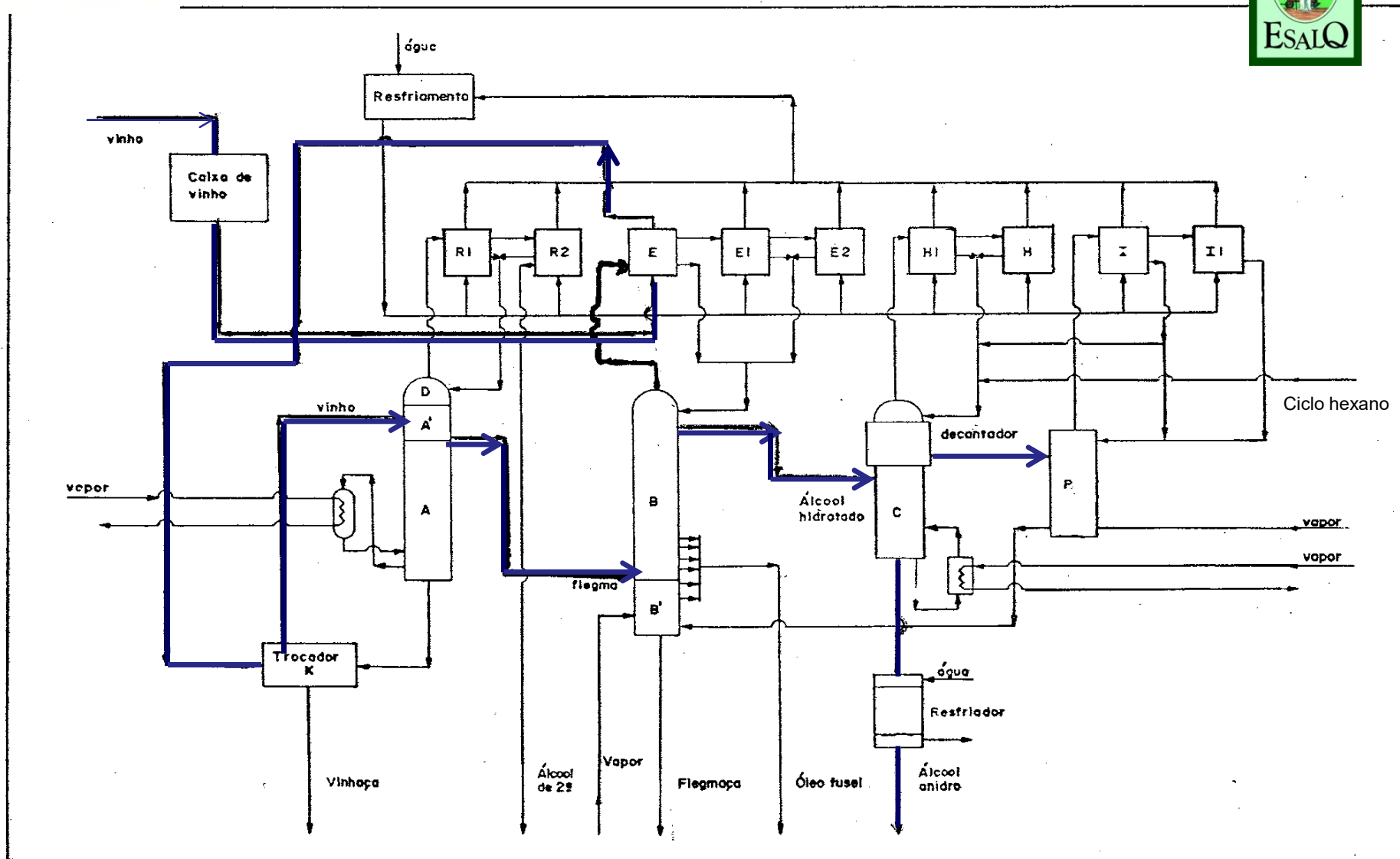
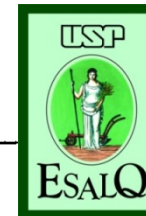
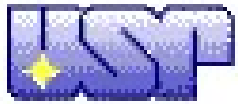


FIGURA 3.7 - Esquema geral de uma destilaria convencional



Substâncias do vinho



Do ponto de vista de volatilidade das substâncias do vinho (grupos):

⇒ voláteis: etanol, água, aldeídos, álcoois superiores, ácido acético, etc.

⇒ fixas: extrato do mosto, células de leveduras e de bactérias, etc.

Para separação do álcool dos demais componentes do vinho:

⇒ baseado na diferença do ponto de ebulição das substâncias voláteis.



Fases da destilação do vinho



Sistemas de Destilação

1ª Operação
(Destilação)

Epuração (A1) e concentração de cabeça (D):
eliminação parcial das impurezas de cabeça
(aldeídos e ésteres) → retirada de parte em álcool
2ª. Destilação (A)

2ª Operação

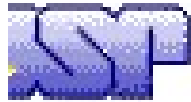
Retificação: purificação e concentração de etanol
através de eliminação de alcoóis homólogos
superiores (óleo fusel).

3ª Operação

Desidratação: fracionamento de misturas
azeotrópicas ou adsorção seletiva.

Principais Compostos envolvidos na Destilação Alcolóica

Classe Química	Composto	Peso Molecular (kg/kmol)	T_{Ebulição} (°C)	P_{Vapor,100 c} (mmHg)
Água	Água	18,02	100	760
Alcoois	Metanol	32,04	64,7	2610
	Etanol	46,07	78,4	1694
	Propanol	60,10	97,2	846
	Isopropanol	60,10	82,4	1482
	Butanol	74,12	117,5	389
	Isobutanol	74,12	107,7	565
	Amílico	88,15	137,9	185
	Isoamílico	88,15	130,9	237



Principais Compostos envolvidos na Destilação Alcólica

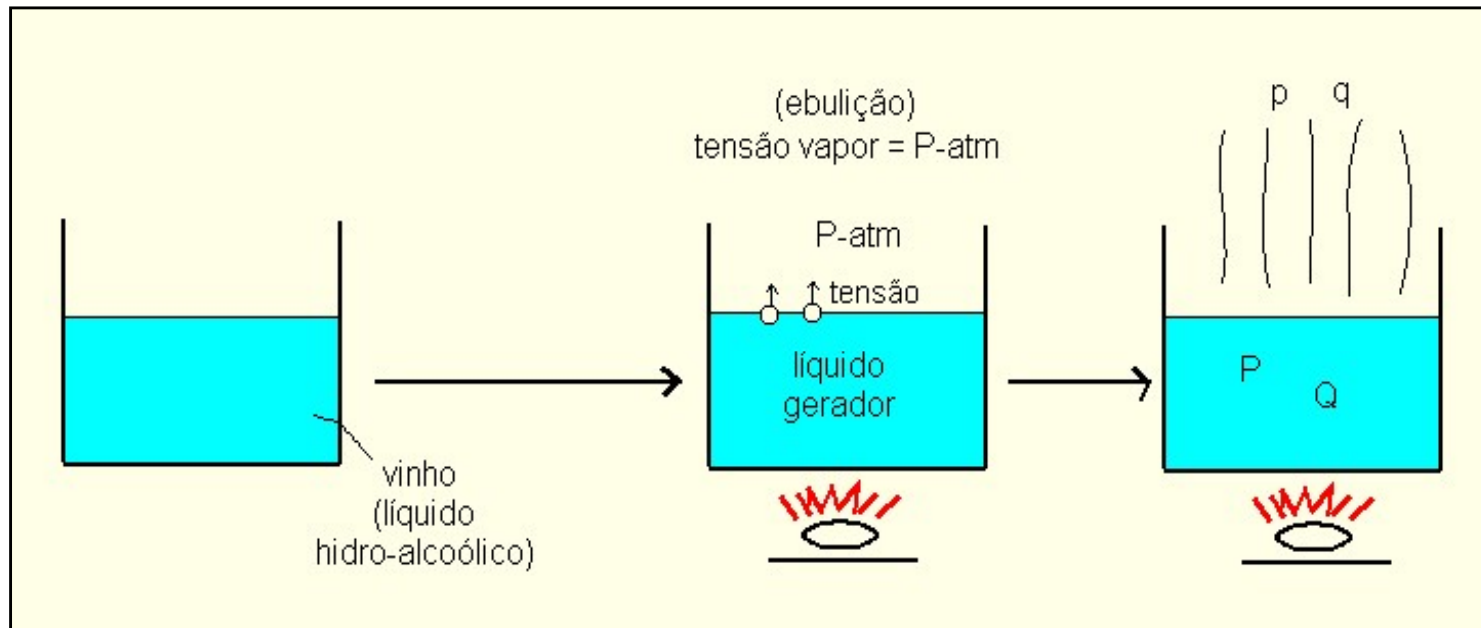
Classe Química	Composto	Peso Molecular (Kg/Kmol)	T_{Ebulição} (°C)	P_{Vapor,100 C} (mmHg)
Aldeídos	Acetaldeído	44,05	20,8	7047
	butiraldeído	72,11	74,9	1539
	Crotonaldeído	70,09	104,6	-
Ácidos	Acético	60,05	118,1	427
	Propiônico	74,08	140,9	182
	caprílico	144,21	236,9	1,7
Cetona	Acetona	58,08	56,2	2806

Principais Compostos envolvidos na Destilação Alcólica

Classe Química	Composto	Peso Molecular (Kg/Kmol)	T_{Ebulição} (°C)	P_{Vapor,100 C} (mmHg)
Ésteres	Acetato de Etila	88,11	77,1	1533
	Caprilato de Etila	172,26	207,1	-
Éter	Acetal	118,17	102,9	-
Hidro-carboneto	Cicloexano	84,16		1303
Diol	Mono Etileno Glico (MEG)	62,07	197,4	16

1. DESTILAÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES TÉORICAS



$$\frac{P}{Q} < \frac{p}{q}, \text{ onde:}$$

P = quantidade de álcool (vinho)

Q = quantidade de água (vinho)

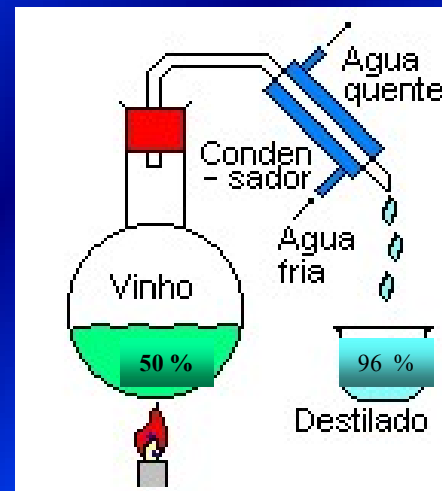
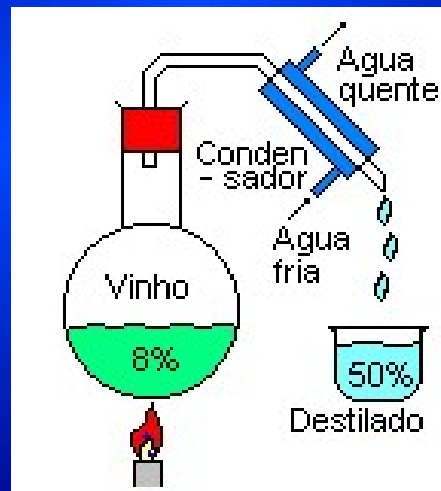
p = quantidade de álcool (destilado)

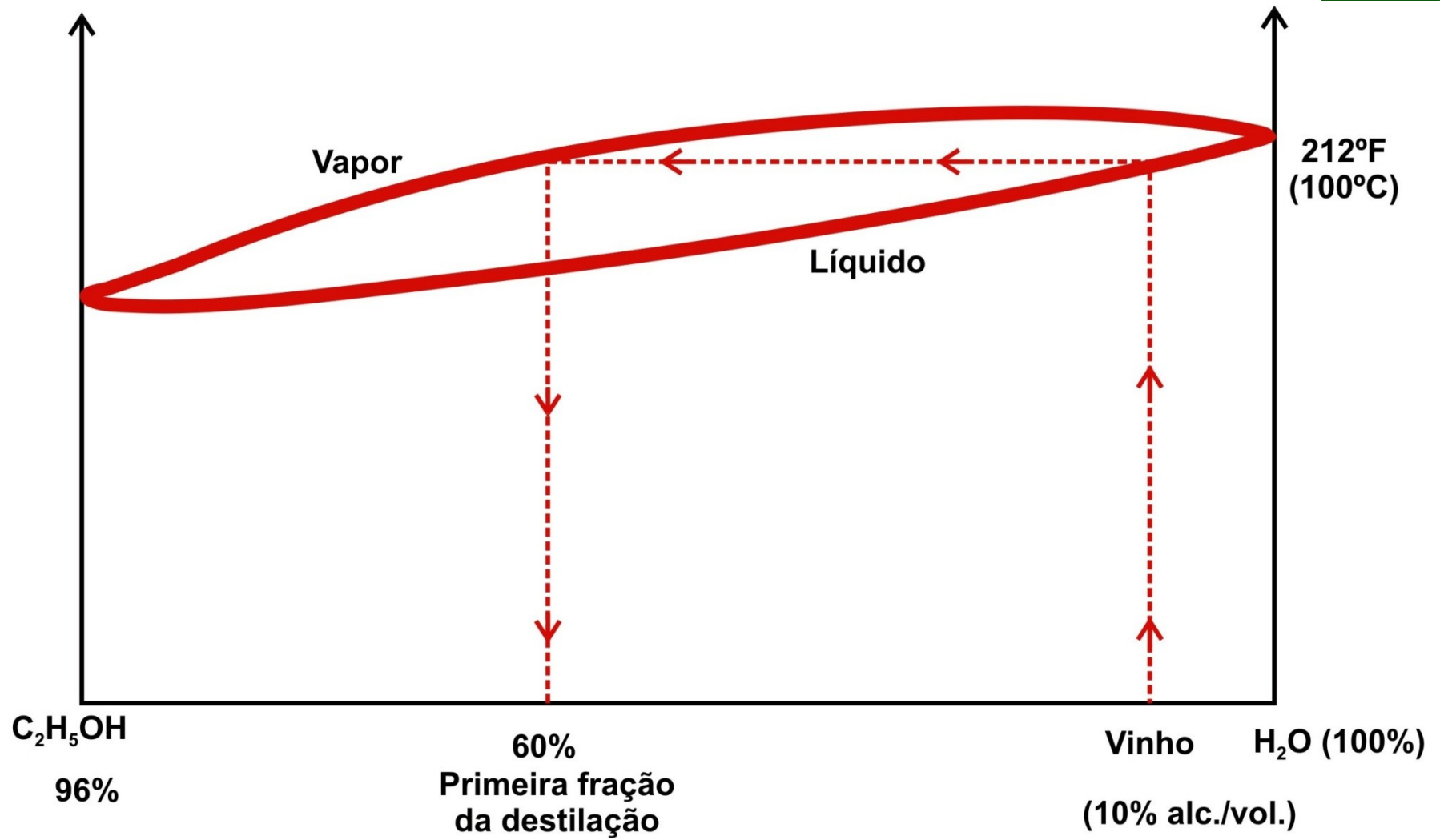
q = quantidade de água (destilado)

Destilação

Se fervemos uma solução alcoólica [por exemplo, vinho], os vapores liberados terão um teor alcoólico maior do que o vinho.

Exemplo: Se fervemos um líquido com 8% de álcool, os vapores terão em torno de 50% de álcool. Se agora condensamos estes vapores teremos um líquido com 96% de álcool.



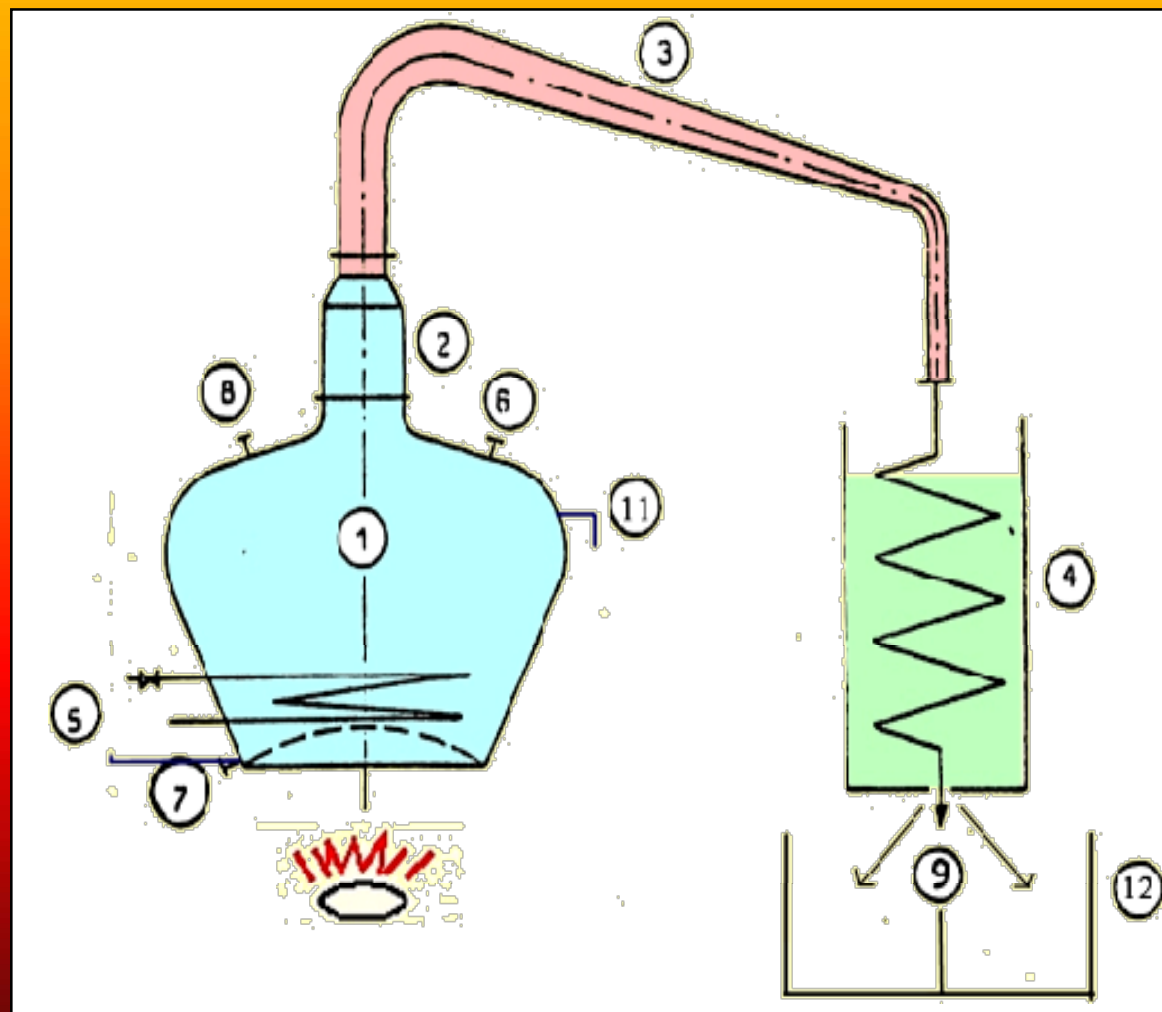


1.2. PRÁTICA (Processos)

(a) Destilação Intermitente Simples

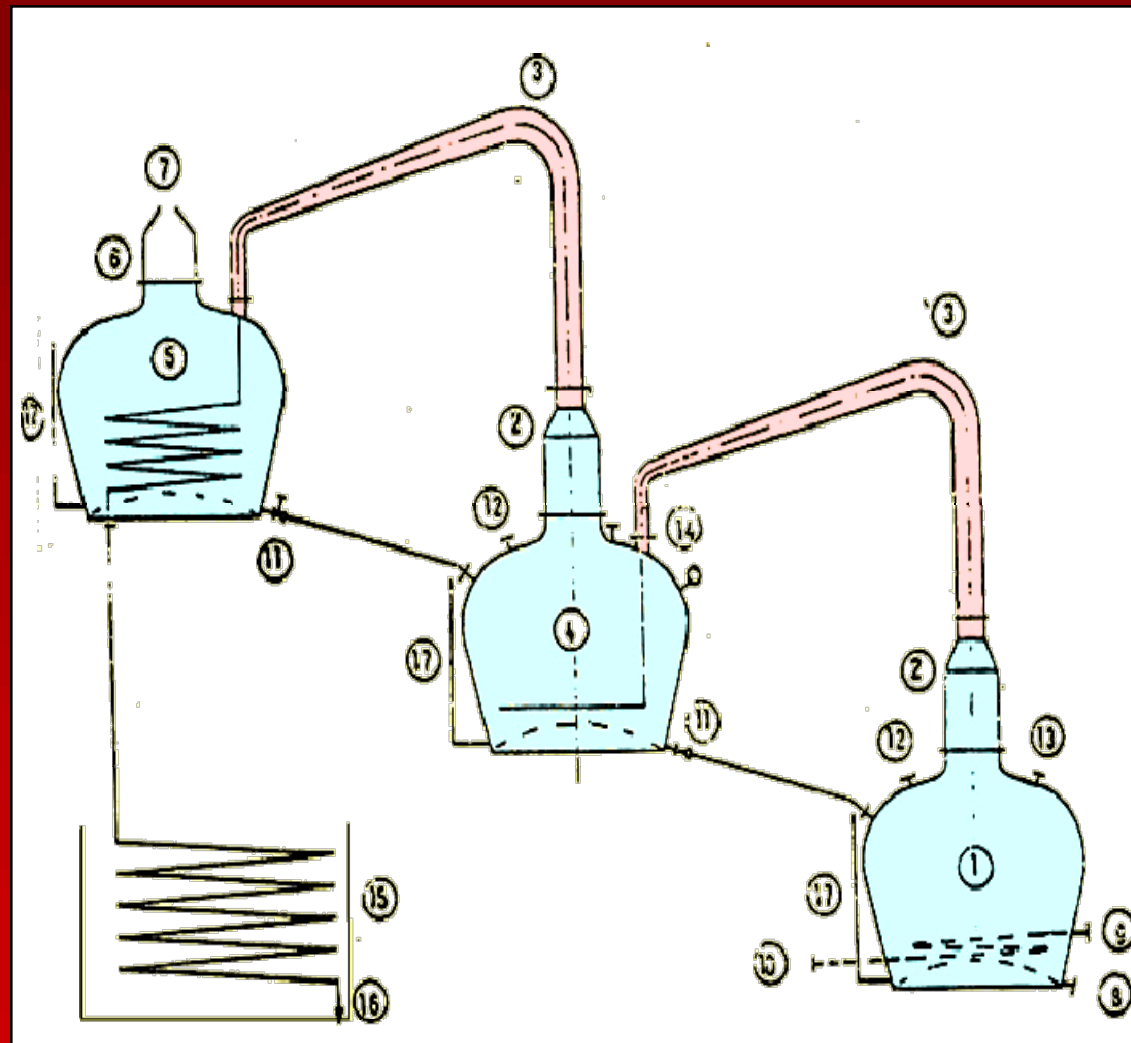
a1) Alambique simples

1. Cucurbita ou Caldeira
2. Capitel, Domo ou Elmo
3. Alonga ou Tubo de Condensação
4. Resfriador
5. Tubulação de vapor
6. Entrada de vinho
7. Descarga de vinhaça
8. Válvula igualadora das pressões
9. Canalização de destilados
11. Ladrão
12. Caixa receptora



a2) Alambique “3 corpos”

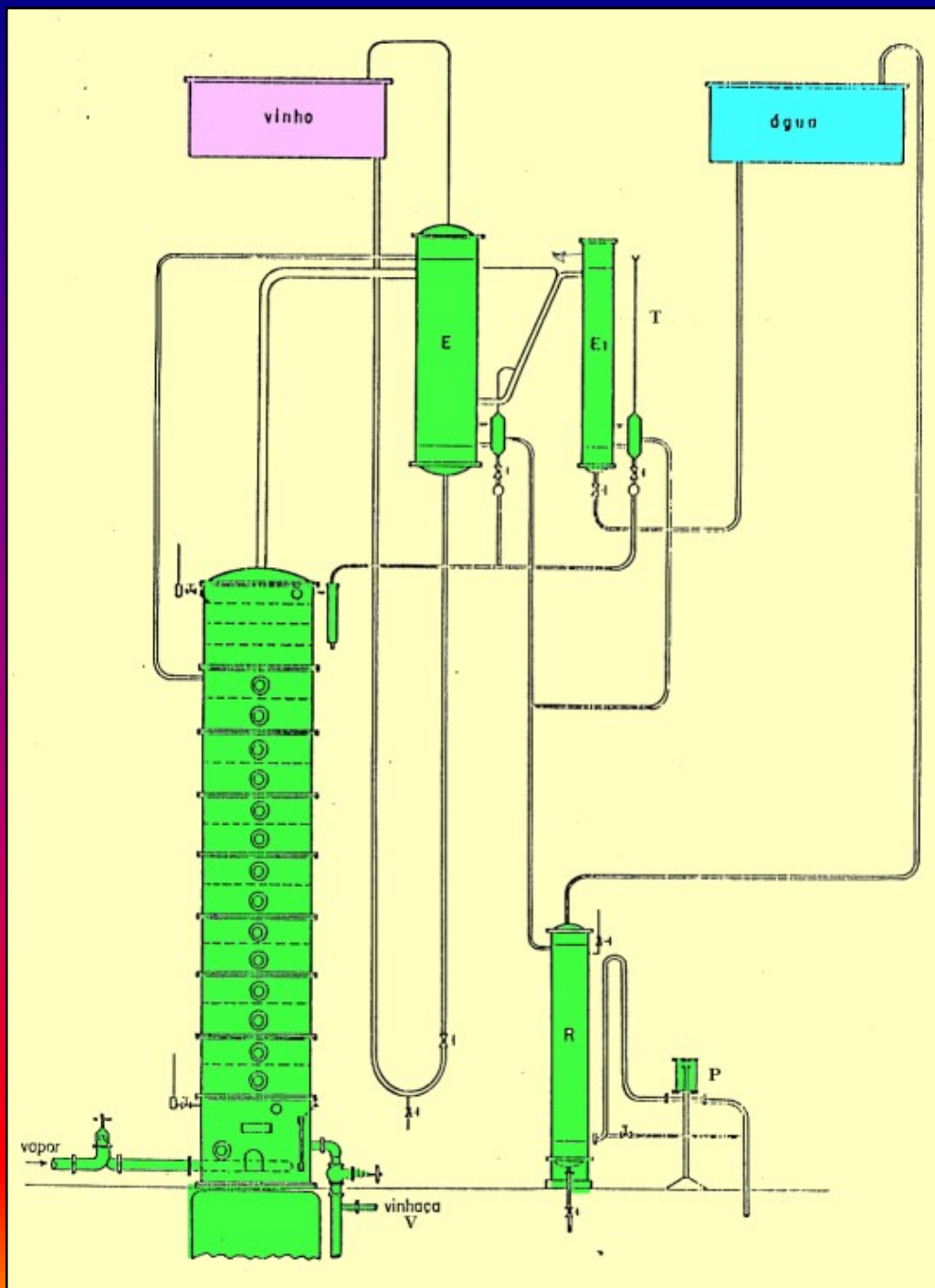
1. Caldeira de esgotamento
2. Capitel, Domo ou Elmo
3. Alonga ou Tubo de Condensação
4. Caldeira de destilação
5. Aquecedor de vinho
6. Câmara de refrigeração
7. Alimentação de vinho
8. Esgotamento de vinhaça
9. Entrada de vapor
10. Purgador
11. Registro de comunicação
12. Válvula de segurança
13. Válvula igualadora das pressões
14. Termômetro
15. Condensador ou resfriador
16. Tubulação de destilados
17. Nível de corpos



b2) funcionamento

- A - Coluna de destilação
- E - Aquecedor de vinho
- E1 - Condensador auxiliar
- R - Resfriadeira
- T - Trombeta
- P - Proveta
- V - Vinhaça

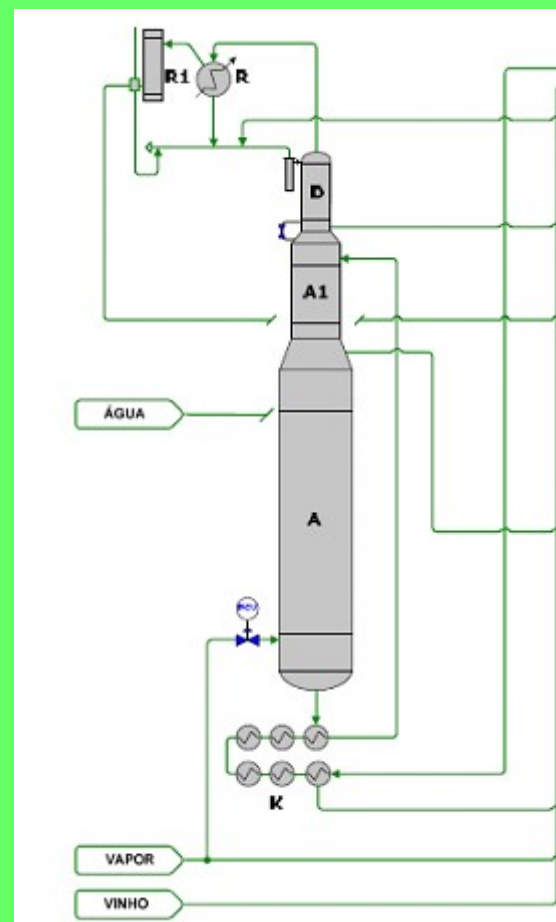
Coluna de
baixo grau
(60% Vol.)





(b) Destilação fracionada

b1) Conjunto de destilação



(b) Destilação Sistemática

b1) Conjunto de destilação

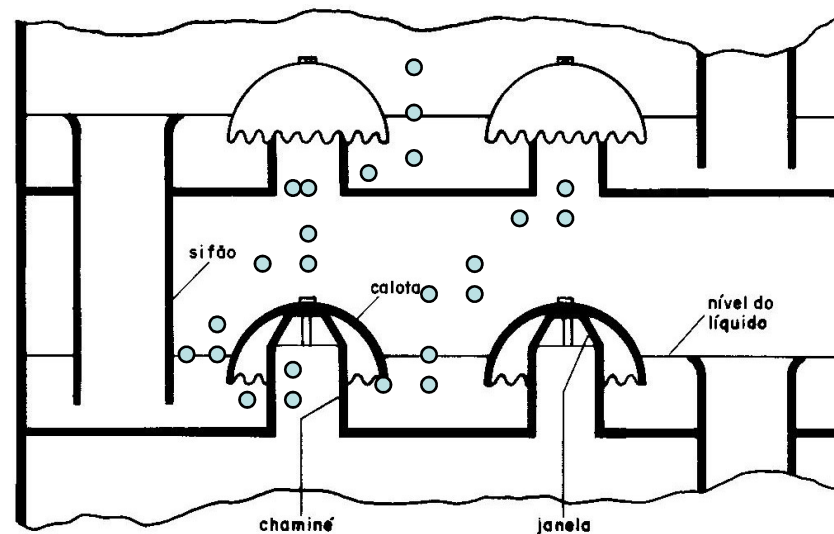


Figura - Esquema de uma bandeja de destilação calotada



LÍQUIDOS				VAPORES	
Álcool em Peso d	Grau GL	Temperatura de Ebulição	Peso Específico a 15° C	Álcool em Peso d	Grau GL
0,001	0,0012	—	—	—	—
0,01	0,0125	—	—	0,11	0,1375
0,05	0,0625	—	—	0,55	0,69
0,10	0,125	—	—	1,1	1,375
0,40	0,5	99,48	0,9992	4,52	5,65
0,50	0,625	99,36	0,999	5,7	7,1
1	1,25	98,78	0,998	10,5	13
1,5	1,875	98,2	0,9972	14,75	18,16
2	2,5	97,78	0,9963	18,5	22,65
2,5	3,125	97,35	0,9954	22,5	27,43
3	3,75	96,88	0,9946	26,3	31,88
3,5	4,375	96,4	0,9937	28,5	34,43
4	5	95,8	0,9928	31,2	37,53
4,5	5,625	95,4	0,9921	33,5	40,12
5	6,25	95	0,9913	36	42,91
5,5	6,9	94,63	0,9905	38	45,11
6	7,49	94,16	0,9897	39,8	47,08
6,5	8,1	93,66	0,989	41,5	48,9
7	8,714	93,3	0,9883	43,3	50,82
7,5	9,325	92,95	0,9875	45	52,62

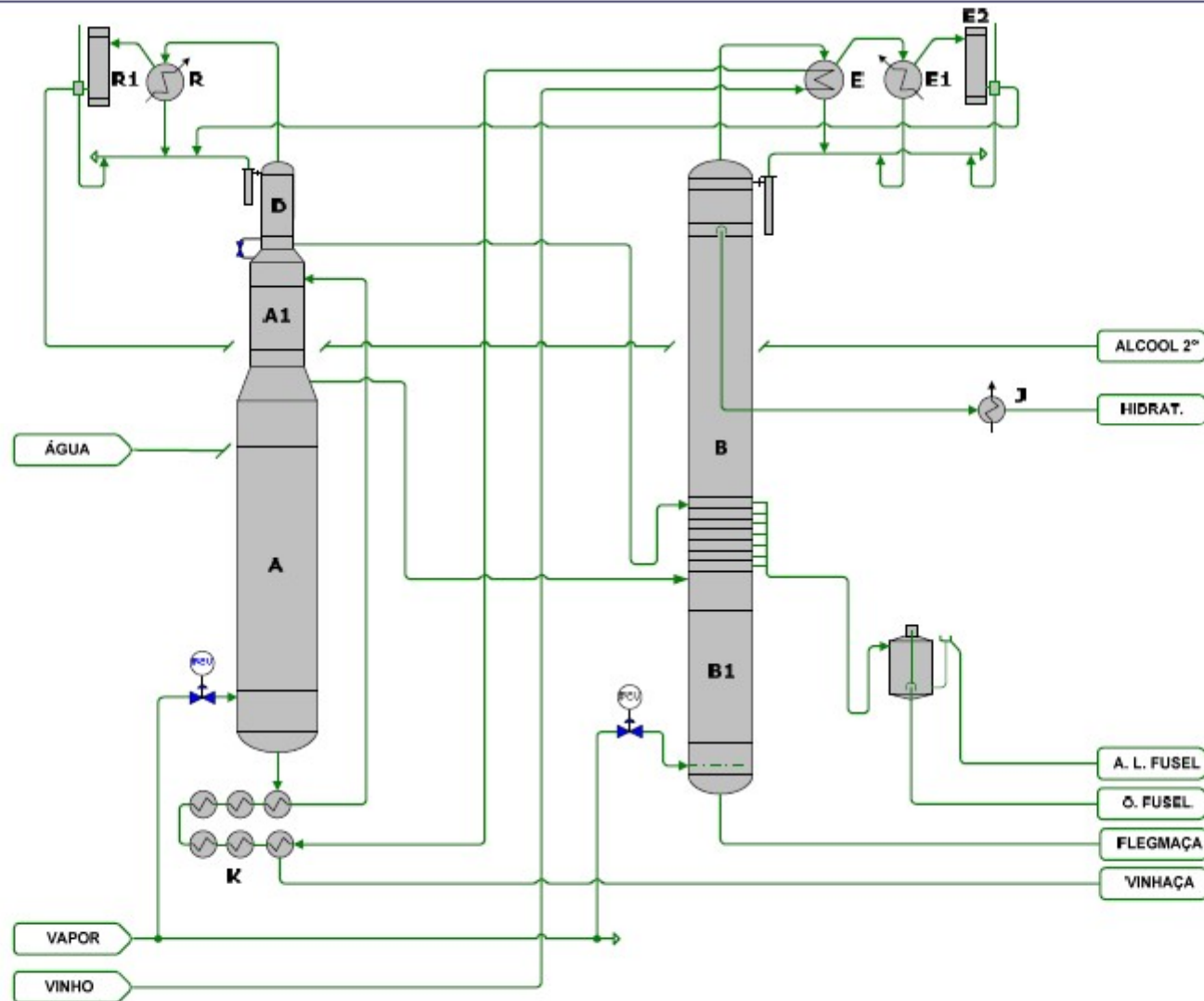


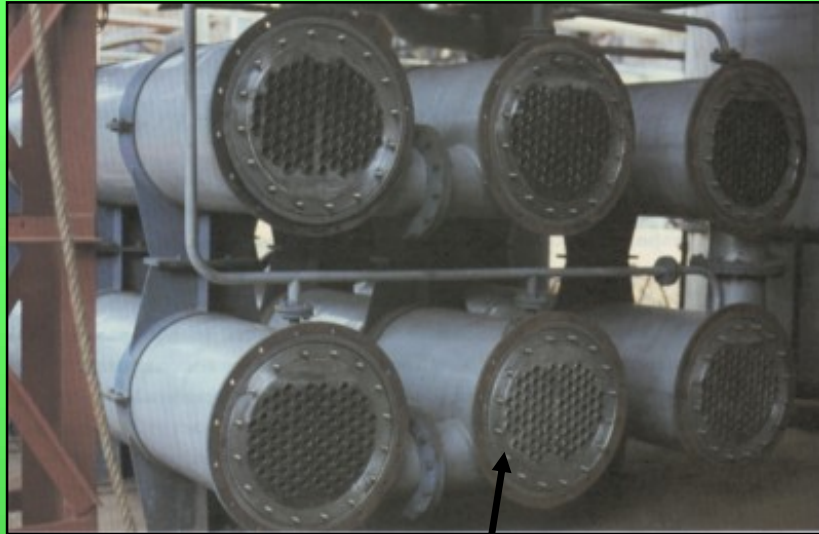
LÍQUIDOS				VAPORES	
Álcool em Peso d	Grau GL	Temperatura de Ebulição	Peso Específico a 15° C	Álcool em Peso d	Grau GL
8	9,94	92,6	0,9867	46,3	53,98
8,5	10,56	92,27	0,986	47,8	55,53
9	11,16	91,78	0,9854	49,2	56,97
9,5	11,77	91,55	0,9847	50,4	58,19
10	12,39	91,3	0,9842	51,6	59,4
15	18,48	88,6	0,9779	60	67,64
20	24,46	87	0,9717	65,5	72,82
25	30,36	85,7	0,9653	69	75,95
30	36,16	84,7	0,9579	71,2	77,91
35	41,8	83,85	0,9494	72,8	79,31
40	47,29	83,1	0,9399	74	80,35
45	52,62	82,55	0,9297	75,4	81,55
50	57,78	81,9	0,919	76,7	82,67
55	62,8	81,4	0,9078	77,8	83,59
60	67,64	81,05	0,8965	78,9	84,5
65	72,32	80,6	0,8849	80	85,41
70	76,85	80,2	0,873	81,7	86,79
75	81,21	79,75	0,8611	83,5	88,24
80	85,41	79,5	0,8489	85,5	89,8



LÍQUIDOS				VAPORES	
Álcool em Peso d	Grau GL	Temperatura de Ebulição	Peso Específico a 15° C	Álcool em Peso d	Grau GL
81	86,21	79,4	0,8467	85,95	90,15
82	87,04	79,3	0,844	96,5	90,57
83	87,85	79,18	0,8415	87,1	91,04
84	88,63	79,15	0,8390	87,5	91,33
85	89,41	79,12	0,8365	88	91,71
86	90,18	79,08	0,834	88,6	92,17
87	90,95	79,03	0,8314	89,2	92,62
88	91,71	78,98	0,8288	89,8	93,07
89	92,47	78,93	0,8261	90,5	93,6
90	93,25	78,88	0,8234	91,2	94,09
91	93,94	78,83	0,8208	91,9	94,45
92	94,67	78,78	0,8181	92,6	95,1
93	95,38	78,73	0,8153	93,4	95,66
94	96,08	78,68	0,8124	94,2	96,22
95	96,77	78,63	0,8096	95	96,77
96	97,44	78,58	0,8067	96	97,44
97	98,1	78,53	0,8037	97	98,1
98	98,75	78,48	0,8006	98	98,75
99	99,38	78,43	0,797	99	99,38
100	100	78,35	0,794	100	100,00

ÁLCOOLHIDRATADO em Sistema Completo $ABB_1 + A_1 D$





Trocaador K



Usina Bom Retiro

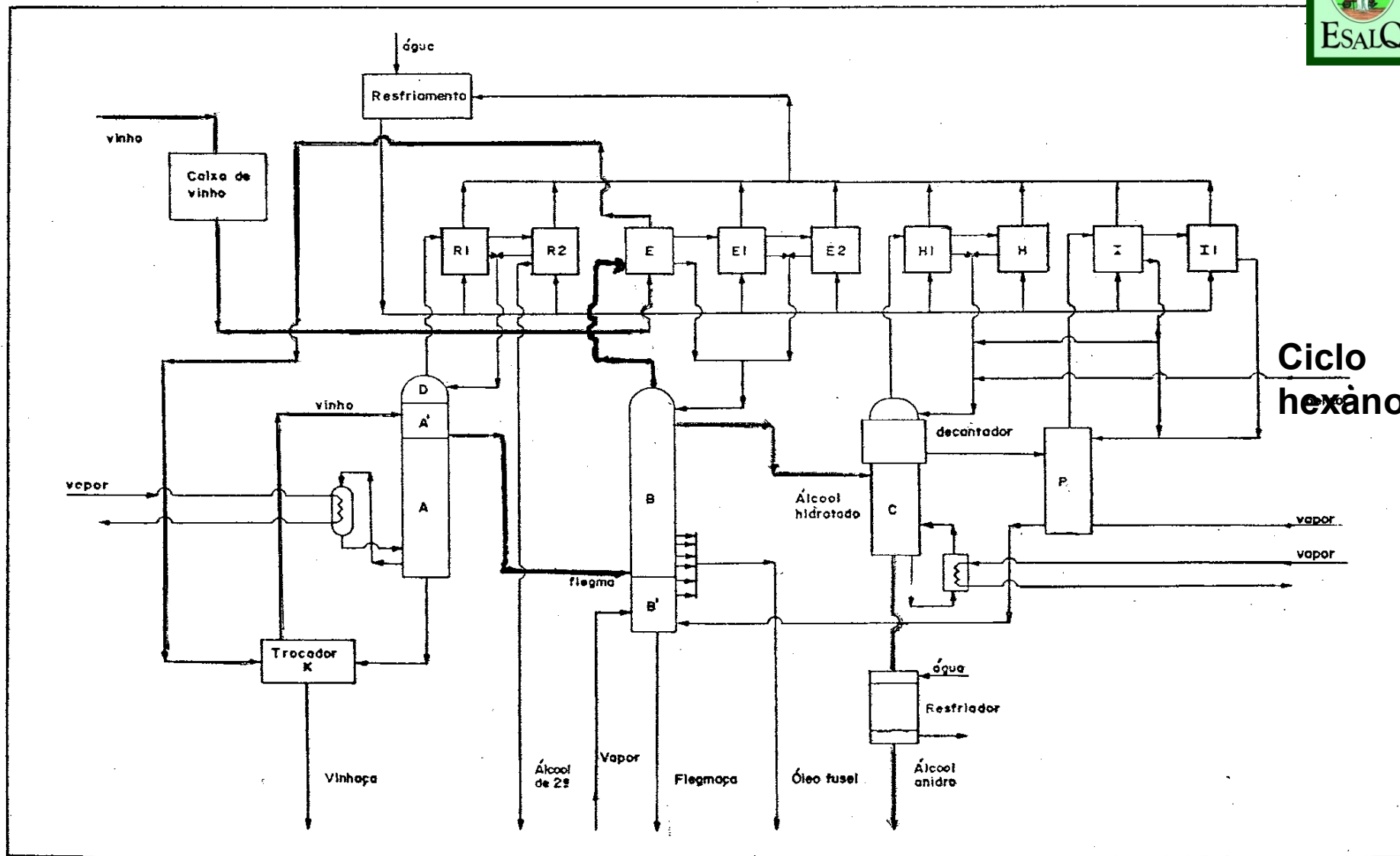


FIGURA 3.7 - Esquema geral de uma destilaria convencional

DESIDRATAÇÃO DE ÁLCOOL

AZEOTRÓPICA

FENÔMENO AZEOTROPISMO

- ✓ Se produz em certos casos de destilação fracionada de uma mistura de dois ou mais líquidos
- ✓ PE da mistura $<$ PE de qualquer dos componentes
- ✓ Impossível a completa separação destes por destilação

DESIDRATAÇÃO DE ÁLCOOL



1 – AZEOTRÓPICA VIA CICLO HEXANO

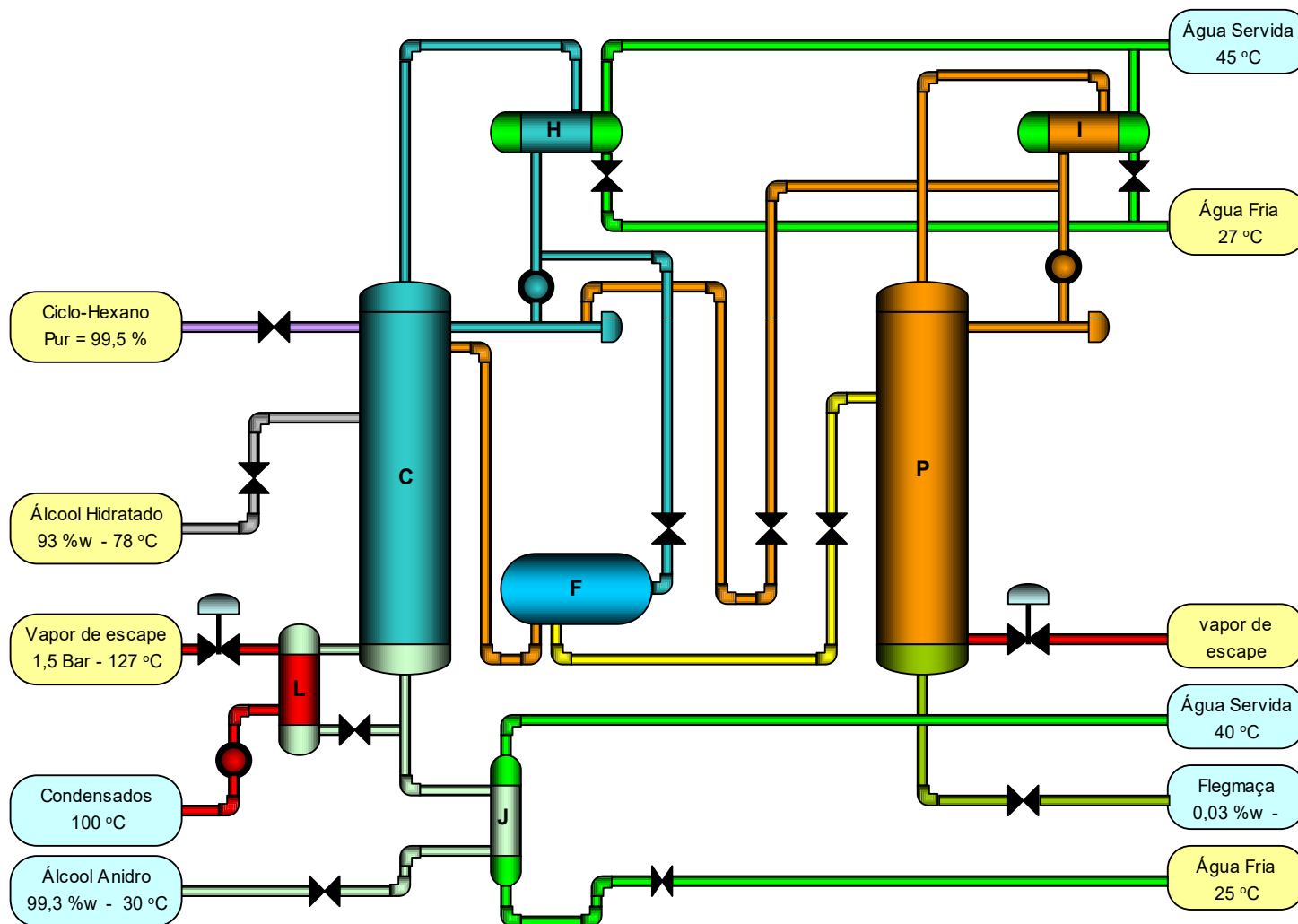
ESPECIFICAÇÃO DO CICLO-HEXANO GRAU COMERCIAL

Ciclo-hexano	mín 99,5%
Faixa de destilação	80,5 ± 2°C
Densidade 20/4 °C	0,7750 - 0,7850
Material não volátil	50mg /Kg máx.
Enxofre	0,1 mg/Kg máx
Naftênicos totais	1000 ppm máx
Aromáticos totais	1000 ppm máx
Estável em CNTP	

DESIDRATAÇÃO DE ÁLCOOL

AZEOTRÓPICA

PRODUÇÃO DE ÁLCOOL ANIDRO – CICLOHEXANO



DESIDRATAÇÃO DE ÁLCOOL



EXTRATIVA

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Separação de uma mistura binária, agregando um terceiro componente (extrator ou solvente).

O agente extrator tem a capacidade de romper o azeótropo original sem formar outro ponto azeotrópico, permitindo a separação dos componentes originais.

Processo de vaporização parcial na presença de um agente de separação não volátil com ponto de ebulição elevado.

DESIDRATAÇÃO DE ÁLCOOL



EXTRATIVA

PRODUÇÃO DE ÁLCOOL ANIDRO

Monoetilenoglicol - MEG

Fornecido pela Oxiteno

**Função de quebrar a molécula do azeótropo
Etanol – água**

Higroscopicidade

**Atrai água na fase líquida e libera álcool para
a fase vapor**

DESIDRATAÇÃO DE ÁLCOOL



EXTRATIVA

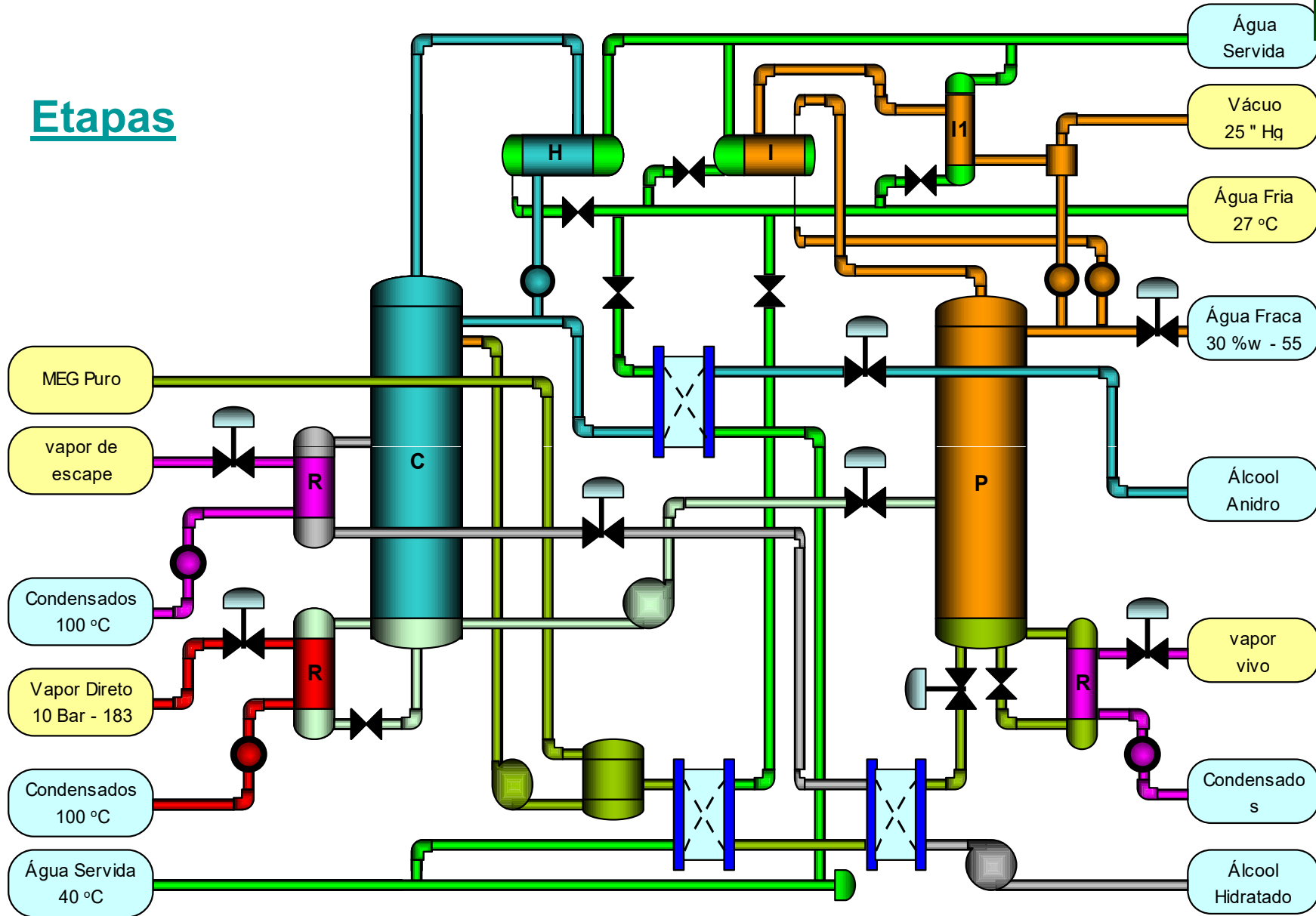
PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO MEG

Aparência a 20/20 °C	líquido
Densidade 20/20 °C	1,1151
Ponto de ebulição	196 °C
Peso Molecular	62,07
Pressão de vapor à 20 °C	0,06 mm Hg
Ponto de Fulgor (vaso aberto)	115,5 °C
Ponto de Congelamento	-15,6 °C
Viscosidade	18,37 cP

DESTILAÇÃO EXTRATIVA – VIA MONOETILENO GLICOL



Etapas



Peneira Molecular

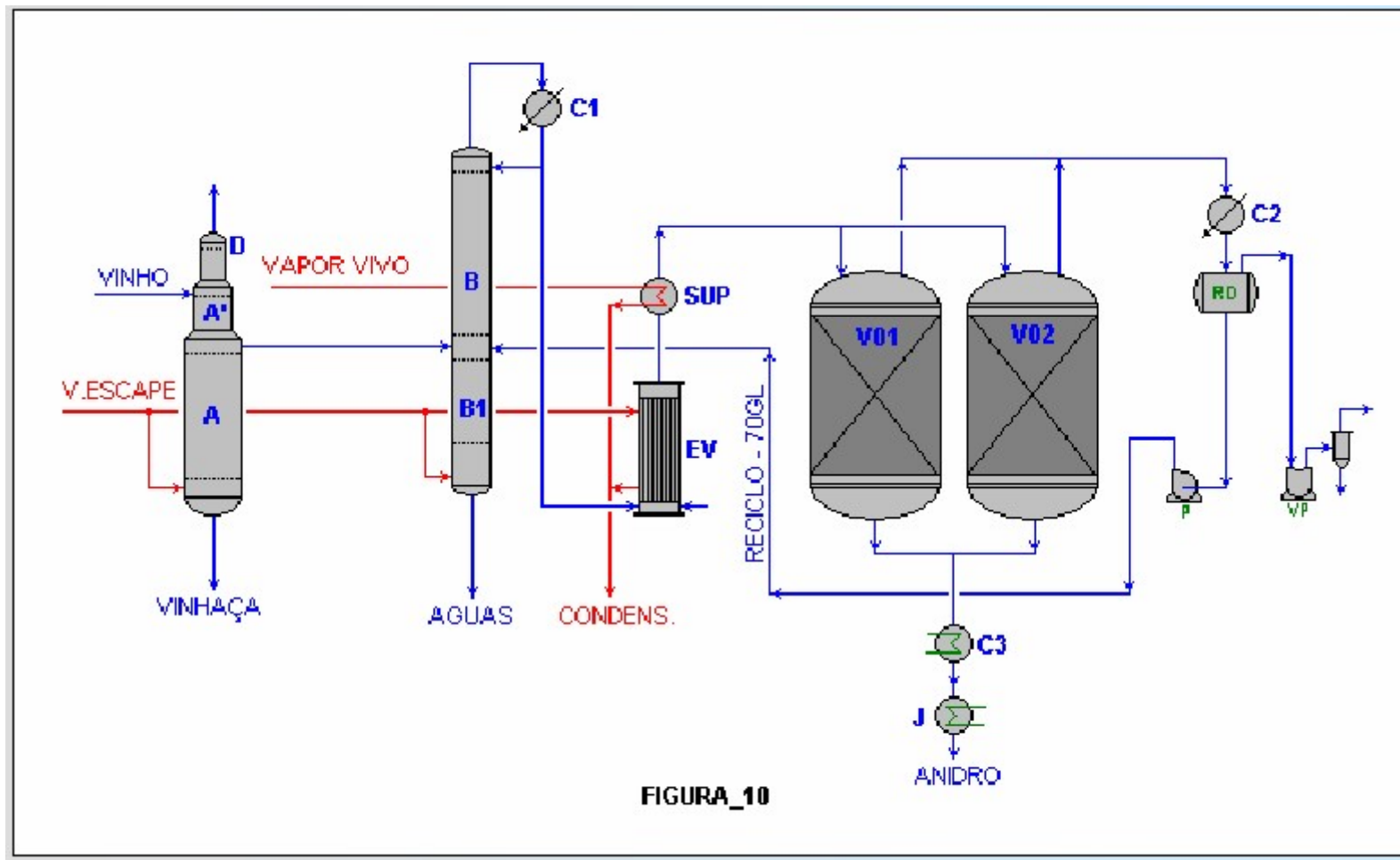
SIDPEM

Sistema de Desidratação via
Peneira Molecular

DESIDRATAÇÃO DE ÁLCOOL



Unidade de Desidratação via Peneira Molecular



Principais Adsorventes

Silica Gel

maior capacidade adsorvitiva = 40 kg H₂O / 100 kg de gel.

Alumina Ativada

média capacidade adsorvitiva.

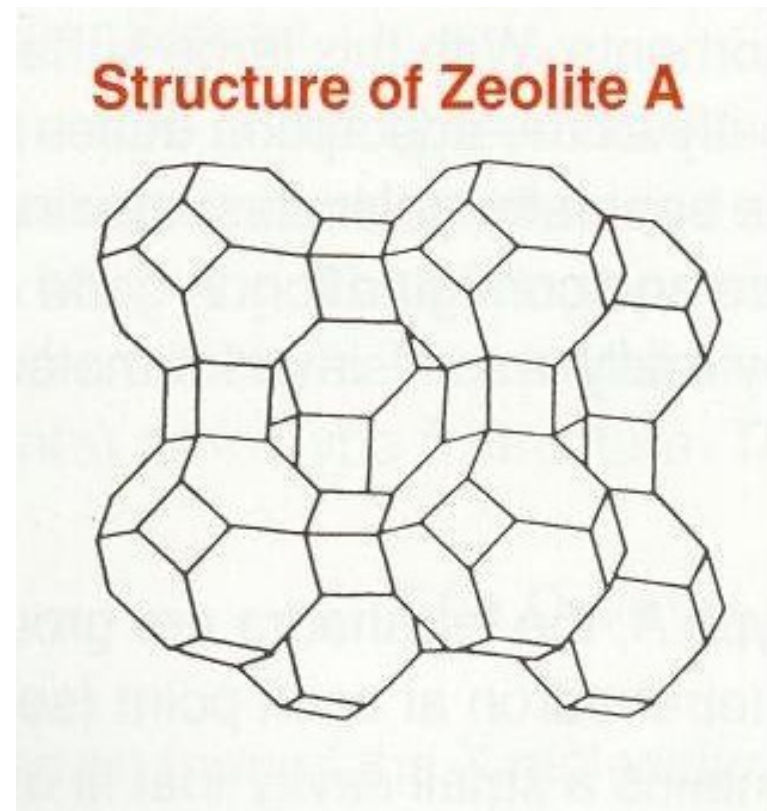
Peneira Molecular

baixa capacidade adsorvitiva = 21 kg H₂O / 100 kg de pen. mol.

mas é o mais forte dos adsorventes, pois nela agem vários mecanismos de adsorção.

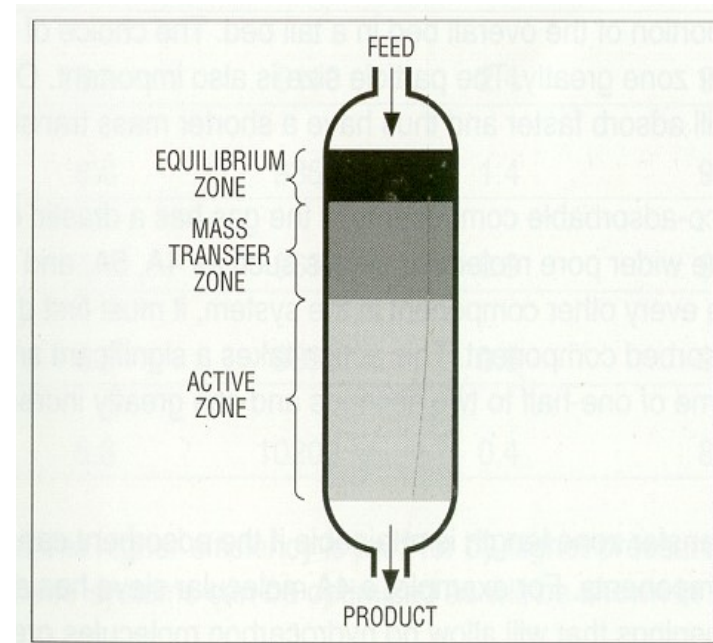
Zeólito tipo 3A

- Poro com 3 Å de diâmetro.
- Molécula da água tem 2,8 Å de diâmetro.
- Molécula de etanol tem 4,4 Å de diâmetro.
- 1 Ångstron é igual a 0,000.000.000.1m



Dinâmica de Adsorção

- Durante o processo de adsorção, o leito de resina se divide em três camadas.
 - zona de equilíbrio
 - zona de transferência de massa
 - zona ativa





Vida Útil da Resina

Vida Útil

- A vida útil da resina é de 8 safras em média.

Como preservar a Vida Útil

- Manter histórico e registros de operação.
- Garantir uma perfeita regeneração.
- Evitar saturação prematura.
- Evitar temperaturas altas de operação.
- Evitar contaminação do leito
- Preferir ciclos longos a ciclos curtos
- Evitar ocorrência de duas fases no fluxo
- Evitar impactos no leito

Unidade de Desidratação via Peneira Molecular



Tempo de vida média da resina de 8 safras

Alternativa de desidratação utilizando membrana

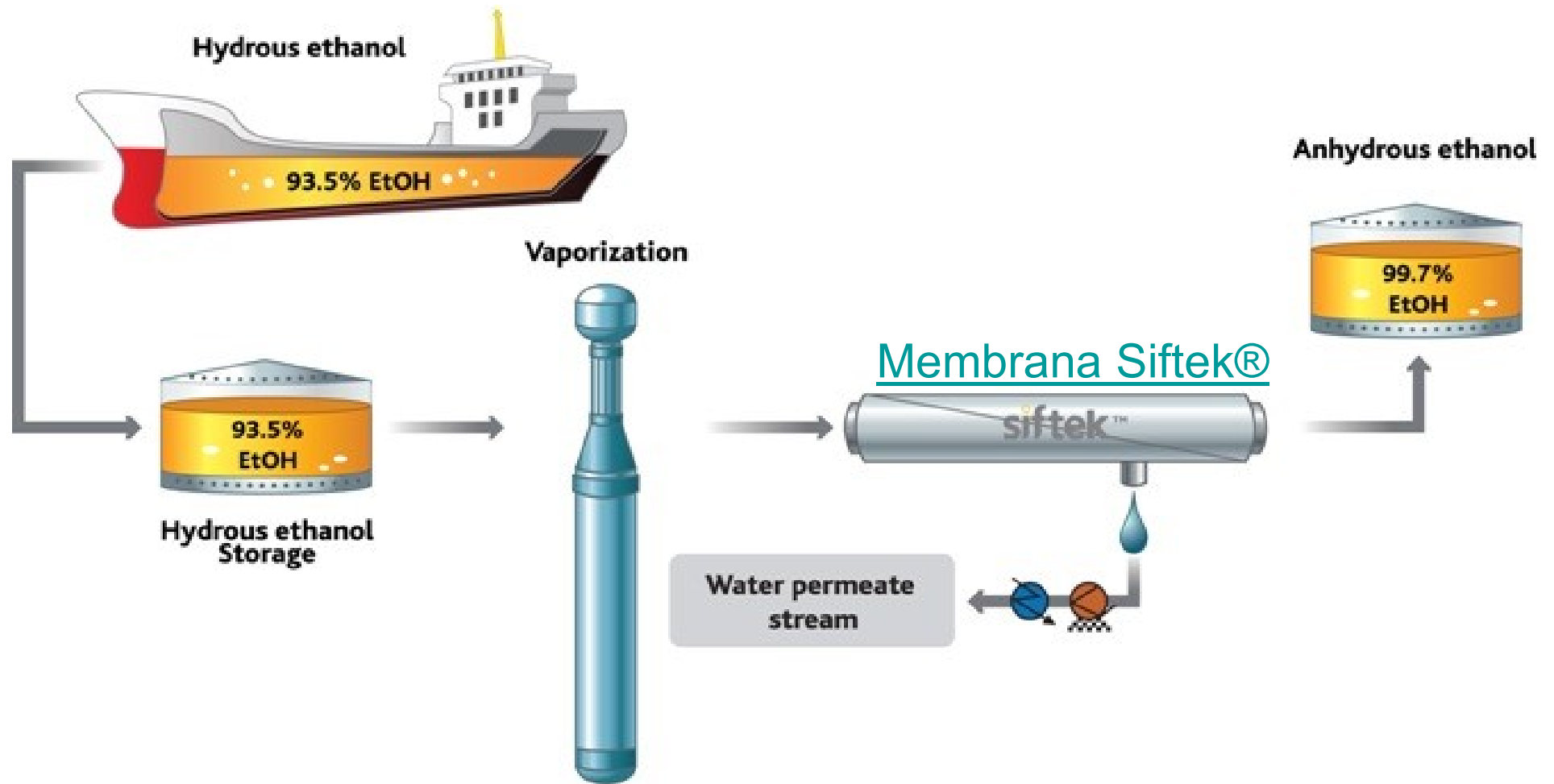
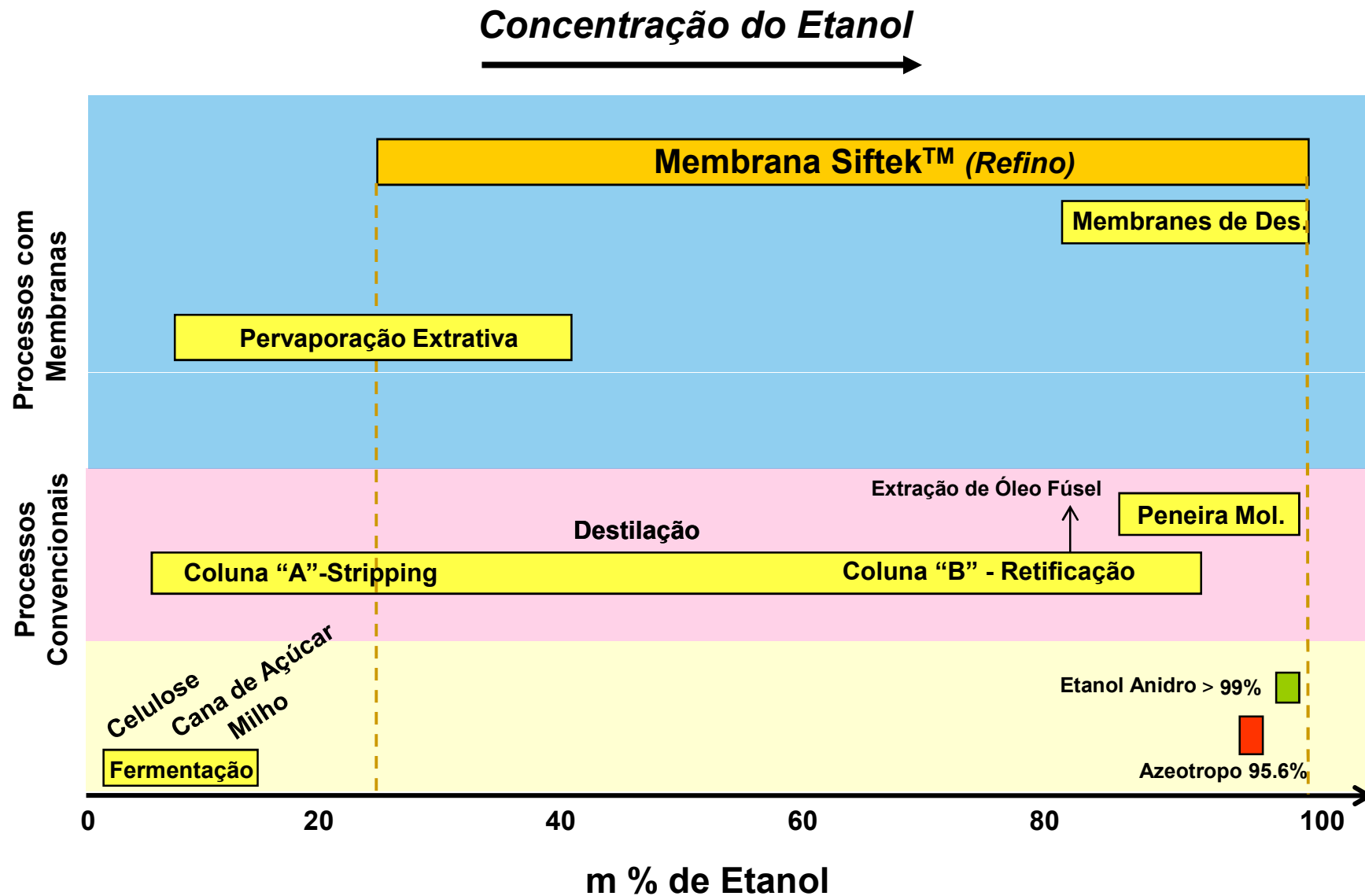


Figura 12 – Esquema demonstrando uma unidade de desidratação de álcool.

Rotas Tecnológicas para Produção de Etanol



Destilação, retificação e desidratação



- SUPRODUTOS : Óleo fúsel
- RESÍDUOS: Vinhaça



CONSIDERAÇÕES FINAIS

✓ O processo de destilação visa concentrar o álcool formado no processo de fermentação do mosto. Nesse processo, normalmente, parte-se de um vinho com 7 a 15 % de etanol e pode-se obter as bebidas denominadas aguardentes (38 a 54 °GL) **ou obter o álcool hidratado com máximo 95,57 % (97 °GL), a partir do qual se produz o álcool neutro anidro;**

✓ Para a obtenção do álcool anidro é preciso quebra a mistura azeotrópica formada quando da obtenção do álcool hidratado. Essa operação de desidratação, normalmente, é realizada com uso de ciclo hexano, monoetileno glicol ou peneira molecular e, mais recentemente tem sido proposto o uso de membrana hidrofílica.

12 Referências

- COOPERATIVA DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Centro de Tecnologia. Divisão industrial. **Destilação**. São Paulo, COPERSUCAR, 1987. 505p.
- USHIMA, A.K., RIBEIRO, A.M.M., SOUZA, M.E.P., SANTOS N.F. **Conservação de energia na indústria do açúcar e do álcool**. São Paulo, IPT, 1990. 796p.
- Perry, Robert H., 1924-1978; Green, Don W.; Perry's chemical engineers' handbook . 8th ed. / prepared by a staff of specialists under the editorial direction of editor-in-chief, Don W. Green, late editor, Robert H. Perry. New York : McGraw-Hill, 2008. 1108p.
- <http://www.simtec.com.br/simposio/index.htm>. Acesso em 22-09-2009.