

# Consumo de Vapor na Destilação

**Florenal Zarpelon**

Eng. Químico – UFRJ-69

**Seminário Industrial Fenasucro**

**30/08/12**

# Conceitos Básicos

- **Balanço Térmico nas Colunas**
- **Considerações Coluna destiladora:**
  - **Calor específico do vinho**
  - **Teor alcoólico vinho**
  - **Temperatura do vinho**
  - **Número de pratos**
  - **Coluna Depuradora A1 / Coluna D**
- **Considerações Coluna Retificadora**
  - **Teor alcoólico do flegma**
  - **Razão de Refluxo**
  - **Condensadores**
- **Isolamento térmico colunas / Também redes até Destilaria**

# Balanço Térmico Coluna Destiladora

Vinho + Vapor = Flegma + Vinhaça + Perdas Térmicas

$$\begin{aligned} \text{Vinho} * d_{\text{vin}} * CE_{\text{vin}} * t_v + \text{Vapor} * H_v = \\ = \text{Flegma} * H_{\text{fl}} + (\text{Vinhaça} + \text{Vap}) * d_{\text{vih}} * t_{\text{vih}} + pt \end{aligned}$$

Vinho: 10%v; Temp = 90°C;

$$CE = 1,058 + 0,000199(90/2) = 1,067$$

$$d = 1$$

Flegma: Tabela Sorel

Vinhaça = Vinho – Flegma

pt = k\*(Calor circulando = Flegma + Vinhaça)

k = 0,03 coluna isolada / k = 0,06 coluna não isolada

**Perdas linhas até chegar destilaria: 3% do consumo**

# Considerações Coluna Destiladora

- Calor específico de etanol puro, kcal/kg\*°C

CE álcool puro (Perry, 8ª ed., pag. 2.167)

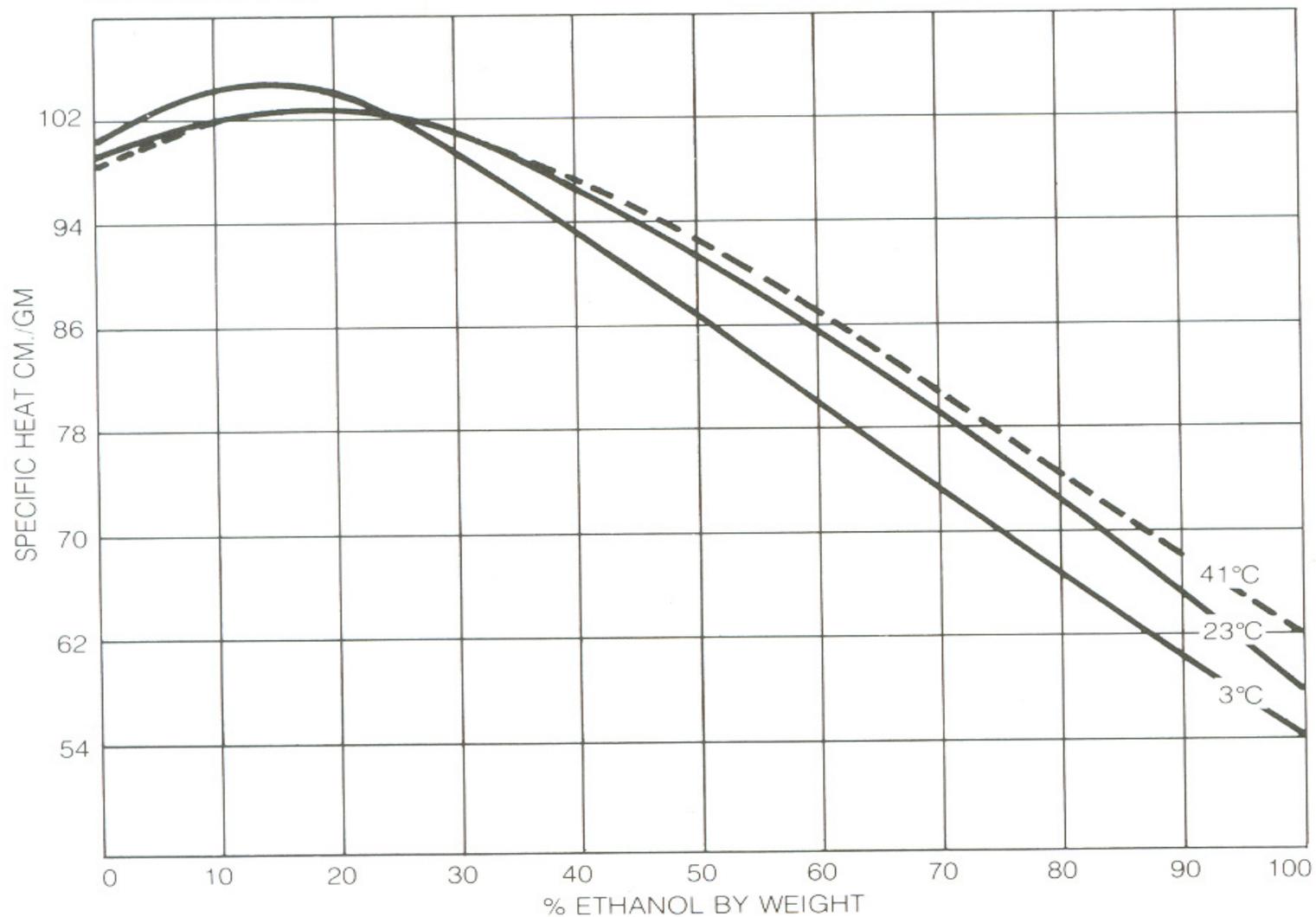
<b>t, °C</b>	<b>Perry</b>	<b>Jamin-Amaury</b>
20	0,57	0,61
30	0,59	0,63
40	0,61	0,65
50	0,63	0,67
60	0,66	0,68
70	0,68	0,70
80	0,71	0,72

# Calor Específico Misturas Alcoólicas

- Mistura 50%m

<b>t,°C</b>	<b>Perry</b>	<b>Jamin-Amaury</b>
20	0,90	0,97
30	0,92	0,98
70	1,00	1,04
80	1,02	1,05
41°C - 10%m	1,02	1,10
25	1,03	1,10
60	0,88	0,95
80	0,75	0,87
100	0,62	0,65

### SPECIFIC HEAT OF AQUEOUS SOLUTIONS OF ETHANOL



# Vazão vinho, de acordo com grau

Caudal de vino (m<sup>3</sup>/h) necesario conforme tenor alcohólico y producción Alcohol 96%v

Tenor Alc. Vino	Producción de Alcohol, m <sup>3</sup> /día							
	400	450	500	550	600	650	700	750
7.0	230	258	287	316	345	373	402	431
7.5	214	241	268	295	322	348	375	402
8.0	201	226	251	276	302	327	352	377
8.5	189	213	236	260	284	307	331	355
9.0	179	201	223	246	268	290	313	335
9.5	169	190	212	233	254	275	296	317
10.0	161	181	201	221	241	261	281	302
10.5	153	172	191	211	230	249	268	287
11.0	146	164	183	201	219	238	256	274

# Temperatura do vinho

- O vinho ao entrar na coluna mais frio que a temperatura do prato provoca a condensação de vapores alcoólicos e se enriquece, e como consequência ,  **aumenta o grau do flegma**  emitido.

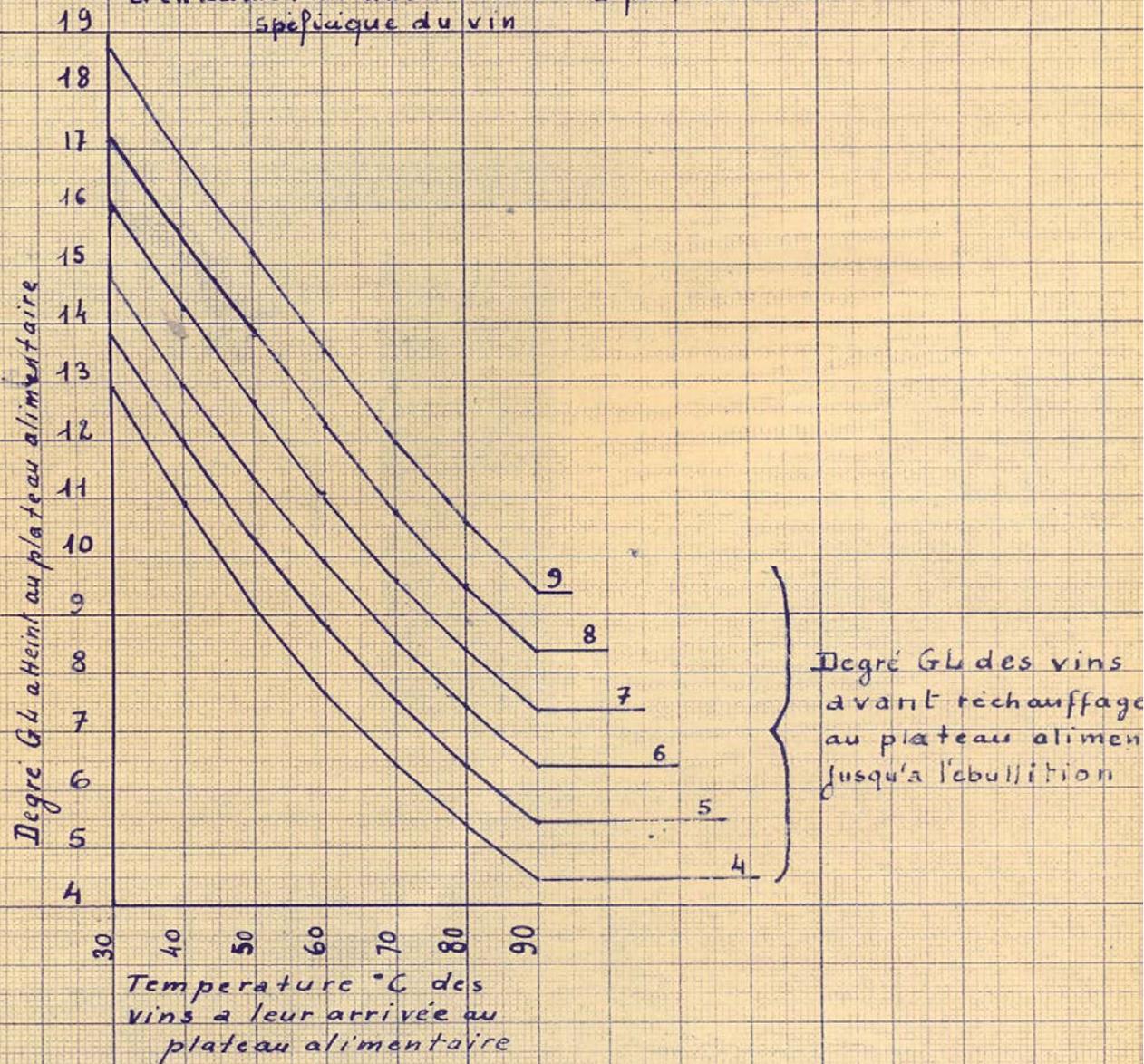
**Exemplo:**

**Vinho com 10%v (8,05%m), entrando a 70°C:**

a) mantendo o Grau, flegma seria **52,9%v (45,2%m)**

b) subindo a 13,3%v (10,7%m), flegma passa a **61,7%v (53,8%m)**

Augmentation approximative de la richesse du vin au plateau alimentaire en fonction de sa température d'entrée à la colonne distillatrice, pour une efficacité Fouche du plateau de 80% et en admettant une valeur de 1 pour la chaleur spécifique du vin



# Aumento Teor Alcoólico vinho por entrar “frio”

## Grau do Vinho na entrada

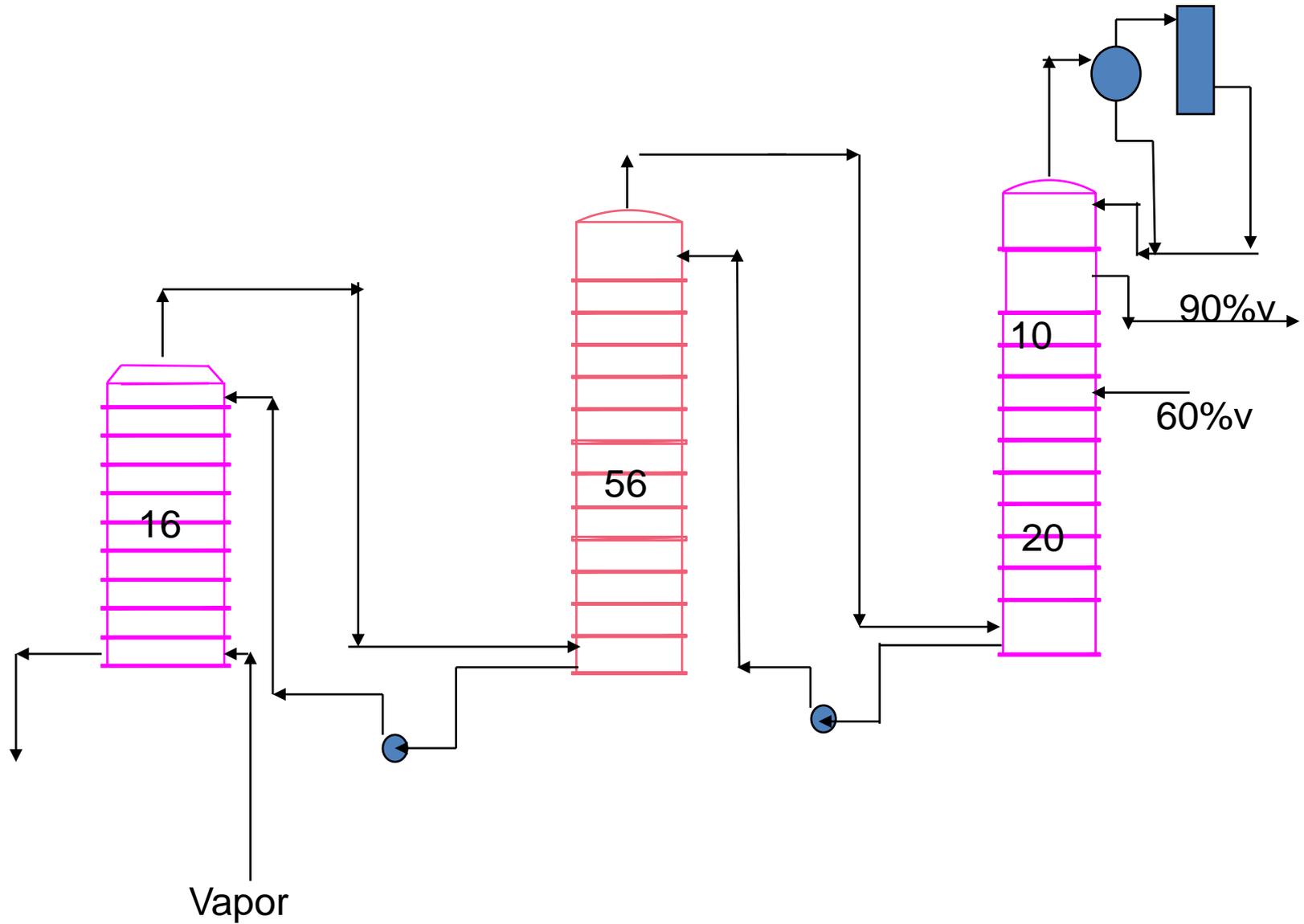
t., °C	8%	9%v	10%	11%v
65	11,2	12,7	14,1	15,3
70	10,6	12,1	13,3	14,4
<b>Desmond</b>	<b>10,6</b>	<b>12,0</b>		
75	10,1	11,5	12,7	13,7
80	9,5	10,8	11,9	13,0
<b>Desmond</b>	<b>9,4</b>	<b>10,7</b>		
85	8,9	10,2	11,2	12,3
90	8,4	9,5	10,5	11,6
<b>Desmond</b>	<b>8,3</b>	<b>9,4</b>		

Negro: F. Zarpelon, Stab, Jan/Fev 2007

Vermelho: Apostila Álcool, R.Desmont, Seção E, pg.24, SSB, 1963

# Número de pratos Coluna Destiladora

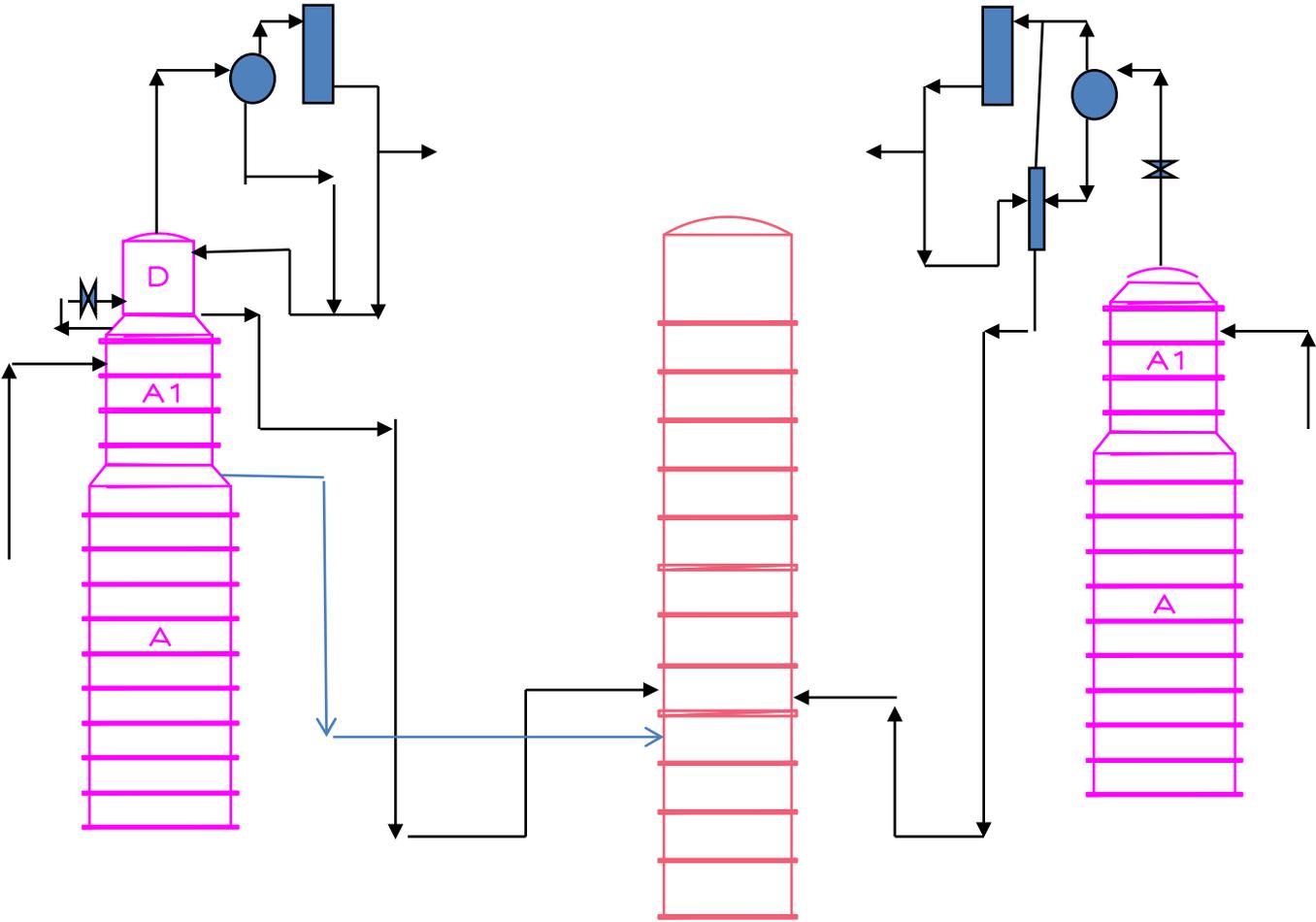
- Nos livros antigos (Mariller, p.e.) é mostrado a teoria que o aumento de pratos na Coluna Destiladora pode diminuir o consumo de vapor.
- **Claro que tem uma pequena influência, e bem conhecemos a metodologia de cálculo, e para nós, não passa de “ficção”, pois, quando se faz o balanço térmico sempre é necessário um consumo maior que o mínimo calculado por estas teorias.**
- **Consideramos 18 pratos na Coluna Destiladora como suficientes e mais que isso pode-se ter incrustações em vários pratos, quando trabalhamos com méis de mais ou menos 50 de pureza e mais baixos.**
- **Além disso, um consumo um pouco maior que um mínimo prático é compensado com um consumo menor na Coluna Retificadora.**



# Coluna Depuradora / Coluna D

- Um pequeno fluxo de flegma vapor deve subir até os condensadores no topo da Coluna Depuradora para a saída dos gases incondensáveis.
- Vapores alcoólicos também são condensados e reciclados para a Coluna Retificadora. Portanto, perdem o calor latente e se o fluxo for alto, aumenta o consumo de vapor na Retificadora. A retirada de 7 a 10% do flegma é suficiente.
- Este flegma condensado tem a concentração do flegma de origem.
- Há no Brasil quem confunde ter estes condensados alto grau porque depois de passar pelo Coluna D se concentram no topo; mas como é feito reciclo total e a saída da coluna é no pé desta D, então, não há aumento de concentração em relação ao flegma de origem.
- Os que confundem, como explicado acima, fazem o envio deste condensado para o prato de 8 a 12 na Retificadora, quando deveria ser enviado para o primeiro prato acima da entrada do flegma vapor. No prato 12, o grau já é de +/- 88%*m* (92%*v*). Isto piora a subida do grau na Retificadora, aumentando o consumo de vapor.

# Coluna D – Eliminar!!!





# Balanço Térmico Coluna Retificadora

$$\text{FlegmaVapor} + \text{FlegmaLiq} + \text{Vapor} =$$

$$= \text{Flegmaça} + \text{Refluxo} + \text{Álchidr} + \text{Perdas Térmicas}$$

$$\text{FlegmaV} * H_{fl} + \text{FlegmaLiq} * d_{fl} * CE_{fl} + \text{Vapor} * H_v =$$

$$= \text{Flegmaça} * d_{flm} * \text{Temp} + \text{Refl} * CL_{et} + AH * H_{et} + pt$$

$$0,9 * \text{Fleg} * H_{fl} + 0,1 * \text{Fleg} * d_{fl} * CE_{fl} + \text{Vapor} * H_v =$$

$$= (\text{Flegmaça} + \text{Vap}) * d_{fl} * \text{Temp}_{fl} + (\text{Refl} + 1) * CL_{et} + AH * d_{et} * \text{Temp}_{et} + pt$$

$$pt = k * (\text{Calor circulando coluna} = \text{Flegmaça} + (\text{Refl} + 1) + AH)$$

$$k = 0,03 \text{ coluna isolada}$$

$$= 0,08 \text{ coluna não isolada}$$

**Adicionar perdas na linhas até a destilaria: 3%**

# Considerações na Coluna Retificadora

- **Teor alcoólico do Flegma**, depende de:
  - Teor alcoólico do vinho
  - Temperatura do vinho na entrada da Destiladora

**Exemplo:**

**Vinho com 10%v (8,05%m), entrando a 70°C:**

a) mantendo o Grau, flegma seria **52,9%v (45,2%m)**

b) subindo a 13,3%v (10,7%m), flegma passa a **61,7%v (53,8%m)**

# Razão de Refluxo

$$RR = \frac{x_D - y_F}{y_F - x_F} * k$$

$x_D$  = composição molar do destilado

$y_F$  = composição molar do vapor emitido pela alimentação

$x_F$  = composição molar do líquido da alimentação

Vinho a 10%v, entrando a 70°C

Álcool 94%*m*     $x_D = 86,00$

Vinho 10%v     $x_F = 3,31$      $y_F = 23,00$      $\rightarrow$      $RR = 4,38$

Vinho 13,3%v     $x_F = 4,48$      $y_F = 24,4$      $\rightarrow$      $RR = 3,06$

Economia na Retif.:  $1,32 \times 228 \times 0,8 = 240$  kcal/L

Gasto na Destil.:  $9,64 \times 1,07 \times 25 = 258$  kcal/L

**Conclusão: vinho “frio” somente ajuda a Retificadora**

# Razão de Refluxo

- Razão de Refluxo (RR)

$$RR_{\min} = (x_D - y_F) / (y_F - x_F)$$

$$RR_{\text{oper}} = RR_{\min} \cdot k$$

**k = de acordo com o projeto e carga da coluna (1,4 - 1,6)**

**Assumindo k = 1,5, o refluxo operacional seria**

<b>Álcool</b>	<b>Vinho 8%v</b>	<b>10%v</b>	<b>12%v</b>
<b>94%m (96,1%v)</b>	<b>5,4</b>	<b>4,4</b>	<b>3,0</b>
<b>93%m (95,4%v)</b>	<b>5,2</b>	<b>4,2</b>	<b>2,9</b>
<b>90%v</b>	<b>3,6</b>	<b>3,0</b>	<b>1,9</b>

**1 Ponto RR significa 0,3 kg/L, de consumo vapor na Retificadora**

# Condensadores da Retificadora

- Uma Retificadora deve operar com baixa pressão na cabeça da coluna. O que faz operar com baixa pressão (0,7 a 0,8 mca) são condensadores bem desenhados, bem projetados, gerando perdas de carga mais baixas.
- É normal encontrarmos pressão de até 2,0 mca ou até mais, na cabeça das colunas Retificadoras, mesmo em projetos recentes, e aí faz-se necessário mais pressão, mais consumo de vapor.
- Alta pressão – desnecessária – na cabeça da Retificadora pode inviabilizar o uso de vapor vegetal, piorando o balanço térmico global da planta.

# Resumo consumo vapor Alc. Hidratado

## kgV/L AH

Vinho	Destiladora		Retificadora		Total	
	NIs	Is	NIs	Is	NIs	Is
7	2,58	2,44	0,92	0,78	3,50	3,22
8	2,30	2,17	0,82	0,69	3,12	2,86
9	2,08	1,96	0,74	0,62	2,82	2,58
10	1,90	1,80	0,68	0,57	2,58	2,37
11	1,76	1,66	0,63	0,53	2,39	2,19

# Alternativas de arranjos de colunas

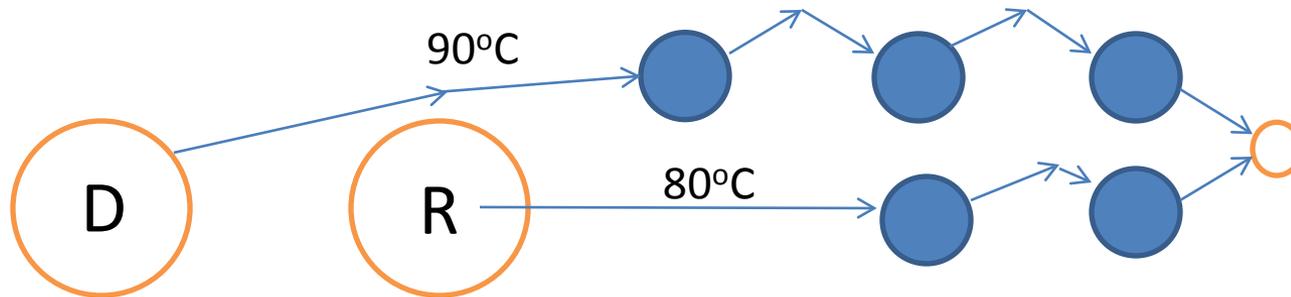
- Coluna Retificadora sem seção esgotamento
- **Condensação do flegma**
- Coluna Destiladora sob vácuo
- **Álcool Neutro: como é necessário condensar o flegma e são 5 colunas, o consumo fica da ordem de 5,0 kg/L**

# Tecnologias Alternativas

- **Retificadora sem seção de esgotamento**
  - Produz mais vinhaça
  - **Necessita maior pressão na Destiladora**
  - Diminui a capacidade de um Aparelho
  - Tecnologia sem chances de continuar, porque reduzir a produção de vinhaça é uma necessidade indiscutível
- **Coluna Destiladora sob vácuo**
  - Reduz consumo vapor da ordem de 30%
  - **Necessita operar coluna Retificadora com 115°C e aí inviabiliza uso de Vapor Vegetal**
  - **Coluna Destiladora y Condensadores para Flegma sob vácuo, logo, mais caro**

# Aparelhos condensando o flegma antes de entrar na Retificadora

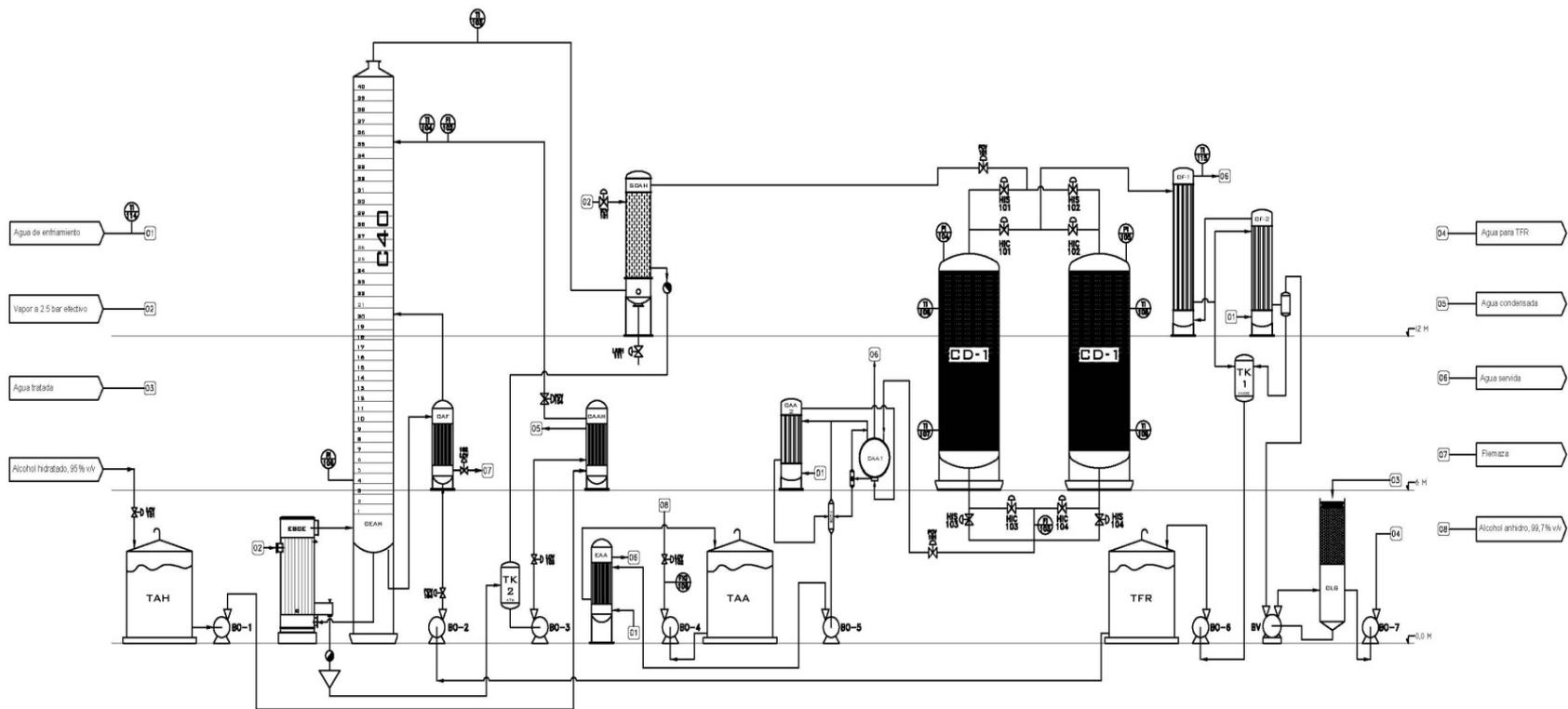
- É comum na Argentina, e pode ser interessante se o calor latente do flegma for aproveitado para concentração da vinhaça
- Gasta entre 0,6 a 0,7 kgV/L a mais
- Permite injeção direta de Vapor Vegetal e redução perdas álcool, ou até mesmo o aquecimento indireto, reduzindo 2 L vinhaça/L AH



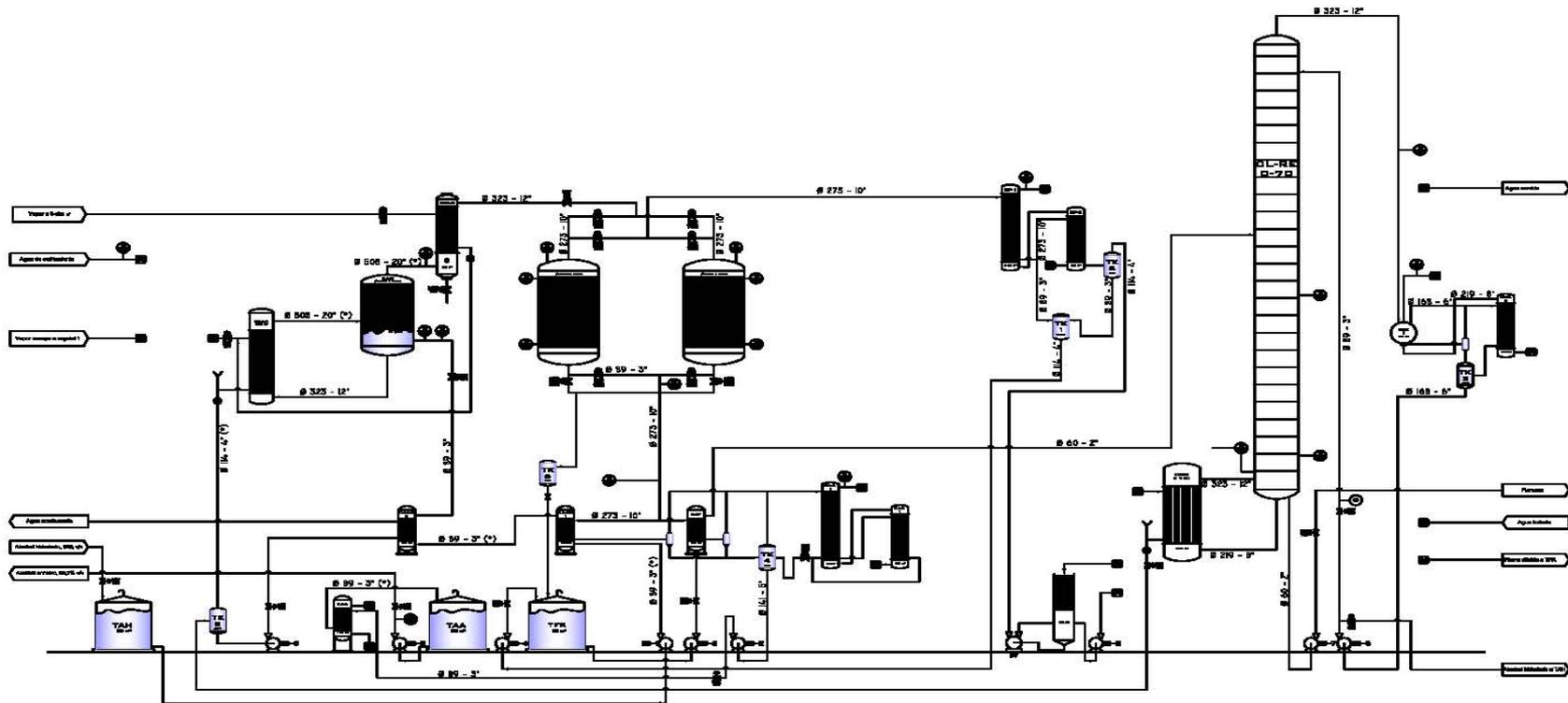
- Calor disponível Flegma saindo da Destiladora: 700 kcal/L AH  
 $700 / 540 = 1,30 \times 3 = 3,9 \text{ kg/L}$
- Calor disponível Vapores Alcoólicos Retificadora: 730 kcal/L AH  
 $730 / 540 = 1,35 \times 2 = 2,7 \text{ kg/L}$
- **Redução total de vinhaça =  $3,9 + 2,7 = 6,6 \text{ Litros/L AH}$**
- **Usando somente Vapores Alcoólicos:  $1,35 \times 3 = 4,0 \text{ Litros/L AH}$**

# Etanol Anidro

- Mistura de Hidratado (Hydrous) a gasolina ([www.heblends.com](http://www.heblends.com))
  - Brasil deveria abaixar o grau do Anidro para algo entre 99,0%v – 99,3%v (atualmente 99,6%v)
- Processo Ciclo-Hexano: depende do grau do AH, normalmente da ordem de 1,2 kgV/L AA
- Processo MEG: sem comentário
- Processo Peneira Molecular
  - Reconcentração sob pressão: 0,60 kg/L (VE)
  - Reconcentração atmosférica: 0,64 kg/L (V1)
  - Reconcentração sob vácuo: 0,46 kg/L (Vapor AA)



- CEAH: Columna evaporadora de alcohol hidratado
- BO: Bomba centrifuga
- BV: Bomba de vacio
- CAA: Condensador alcohol anhidro



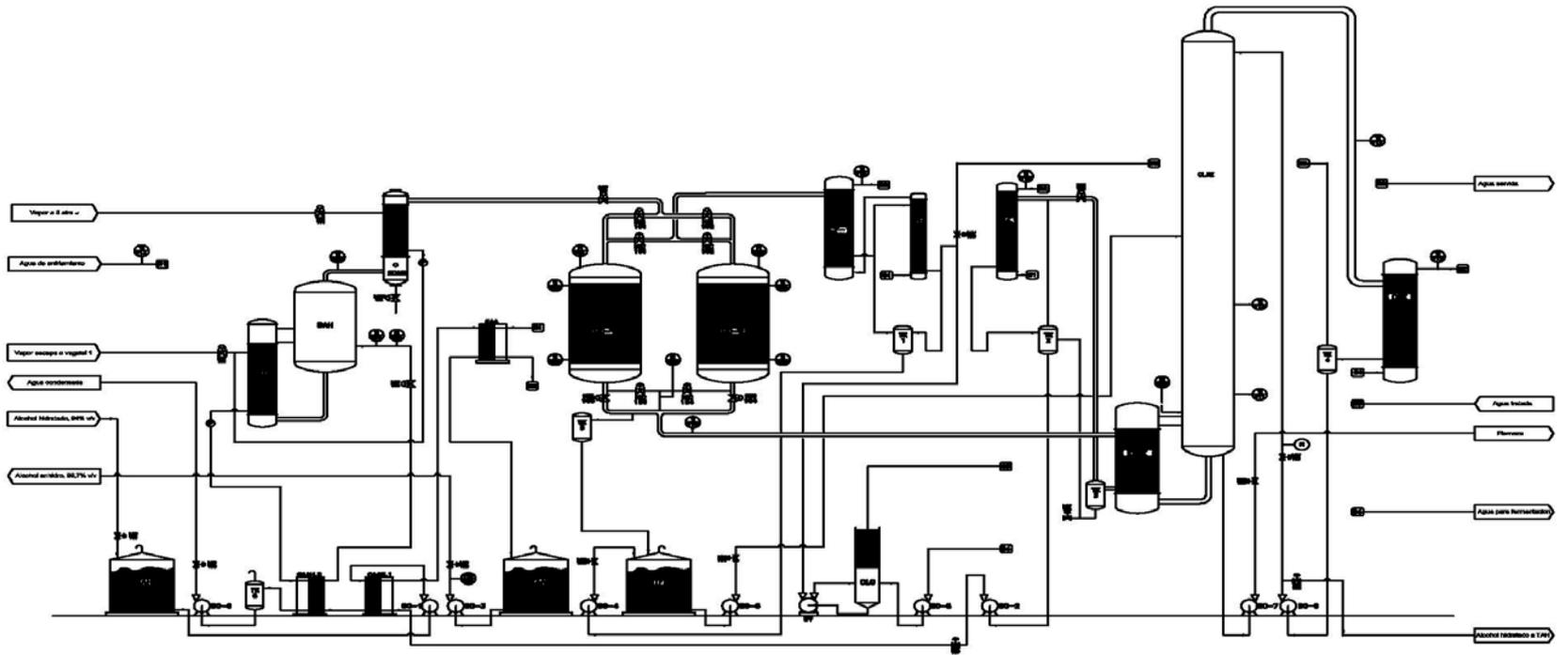
- BAH: Balón de separación de alcohol hidratado
- BO: Bomba centrífuga
- BV: Bomba de vacío
- CAA: Condensador alcohol anhidro
- CAF: Calentador de flama
- CAAH: Calentador de alcohol hidratado
- CD: Columna deshidratadora
- CF: Condensador de flama
- CLG: Columna lavado gases
- CLRE: Columna reconcentradora
- CRE: Condensador columna reconcentradora
- EAA: Enfriador alcohol anhidro
- EBAH: Ebullición alcohol hidratado
- EBRE: Ebullición columna reconcentradora
- SCAH: Sobrecalentador de alcohol hidratado
- TAA: Tanque alcohol anhidro
- TAA: Tanque alcohol hidratado
- TFR: Tanque de flama regenerada
- TK: Tanque

Notas:

(\*) Diámetros a confirmar propuestos por DiBacco

<b>HR.</b>	FECHA	NOMBRE	 <b>Bdi BACCO</b> <small>INDUSTRIAS ALCOHÓLICAS</small> <small>Y CIA. S.A.</small> <small>TUCUMÁN - ARGENTINA</small>	<b>CONFIDENCIAL</b> ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL MISMO PROPIEDAD DE DI BACCO Y CIA S.A. SU USO Y REPRODUCCION SIN PERMISO AUTORIZACION, ES UN PUNTO DEL DELICITO.
	DEBIDO	MIRANDA		
	PROFESOR	DI BACCO		
	REVISOR	SILVA		
<b>FLUJIOGRAMA TIP. DESHIDRATACION ALCOHOL</b> <b>TAMIZ MOLECULAR (ATM) - 300 m3/dia</b> <b>INGENIO LEDESMA</b>			ESCALA Indicación F004	HOJA REV. D

REVISOR	REL. CANT.	FECHA	DESCRIPCION	APROBACION	PLANO NO.	TITULO



- BAH: Balón de separación de alcohol hidratado
- BO: Bomba centrífuga
- BV: Bomba de vacío
- CAA: Condensador alcohol anhidro
- CAAH: Calentador de alcohol hidratado
- CD: Columna deshidratadora
- CF: Condensador de fierro
- CLG: Columna lavado gases
- CLRE: Columna reconcentradora
- CRE: Condensador columna reconcentradora
- EAA: Enfriador alcohol anhidro
- EBAH: Ebullición alcohol hidratado
- EBRE: Ebullición columna reconcentradora
- SCAH: Sobrecalentador de alcohol hidratado
- TAA: Tanque alcohol anhidro
- TAH: Tanque alcohol hidratado
- TFR: Tanque de fierro regenerado
- TK: Tanque

REVISIONES	NO.	CANT.	FECHA	DESCRIPCION	APROBACION	PLANO NO.	TITULO	H.R.	
								DESIGNO	FECHA
								DESIGNO	30/01/09
								PROYECTO	30/01/09
								REVISO	30/01/09

INDUSTRIA METALURGICA <b>Bdi BACCO</b> TYOMAR - ARGENTINA S. de C.A.	INFORMACION CONTENIDA EN ESTE PROYECTO DE D. BACCO Y C. S.A. SU USO Y REPRODUCCION SIN PREVIA AUTORIZACION, ESTAN PROHIBIDOS.
FLUJOGRAMA TIP. DESHIDRATACION ALCOHOL TAMIZ MOLECULAR (VACIO) - 1000 m3/dia INGENIO LEDESMA	ESCALA Indiferente PLAN
H.M.A. REV. A	FORMA A2 REV. A
YC-LED-TM-V-01-00	

**Obrigado**

**Estamos a disposição para perguntas**