



**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

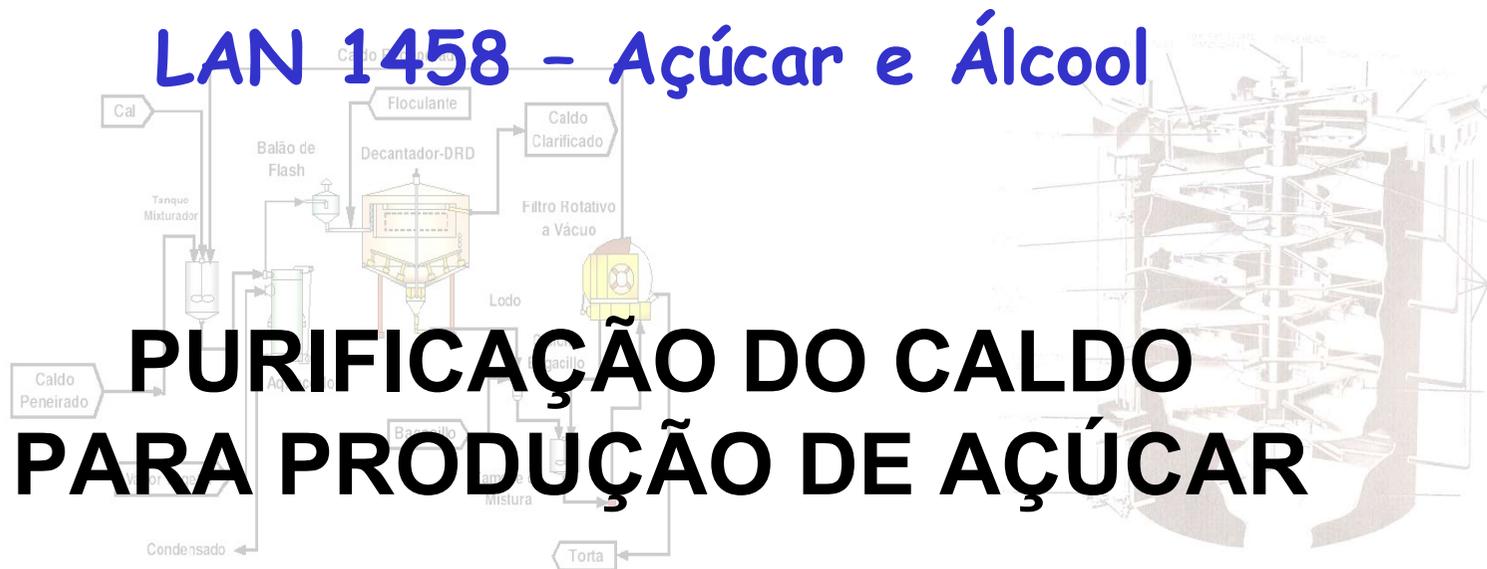


FIGURE 6.1. RapiDorr 444 Clarifier. (Dorr-Oliver)

**Prof. Antonio Sampaio Baptista**

## 8. FILTRAÇÃO DAS BORRAS

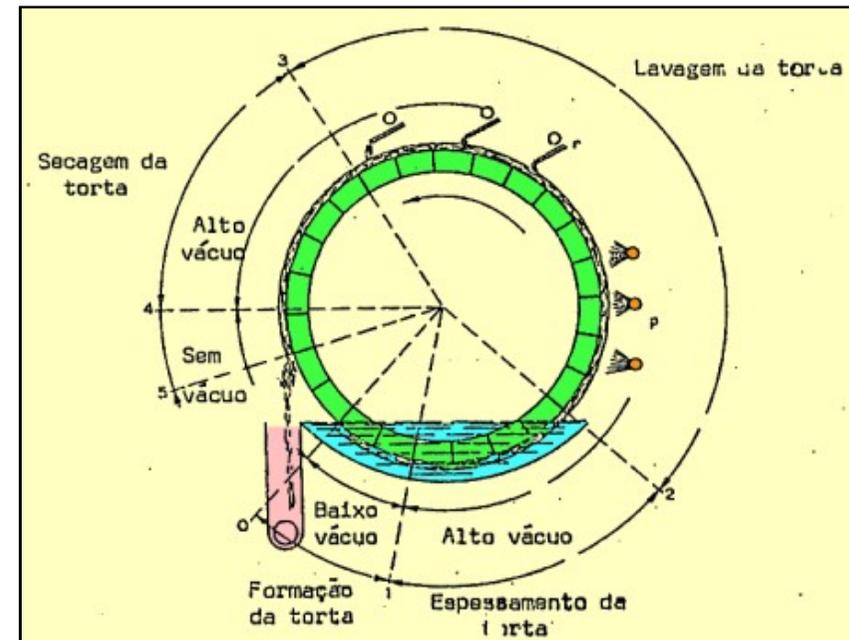
- Objetivo → a operação de filtração visa recuperar o caldo arrastado com as borras ou lodo, o qual tem considerável teor de sacarose.

Filtração das borras

- Filtro rotativo a vácuo
- Prensa desaguadora

### Eficiência da filtração:

- qualidade do caldo
- concentração do caldo
- adição de leite de cal (pH 7,5 a 8,0)
- adição de bagacilho - (6 a 10 kg/TC)
- quantidade de água: 100 a 150 % peso da torta
- temperatura da água - 75 a 80 °C

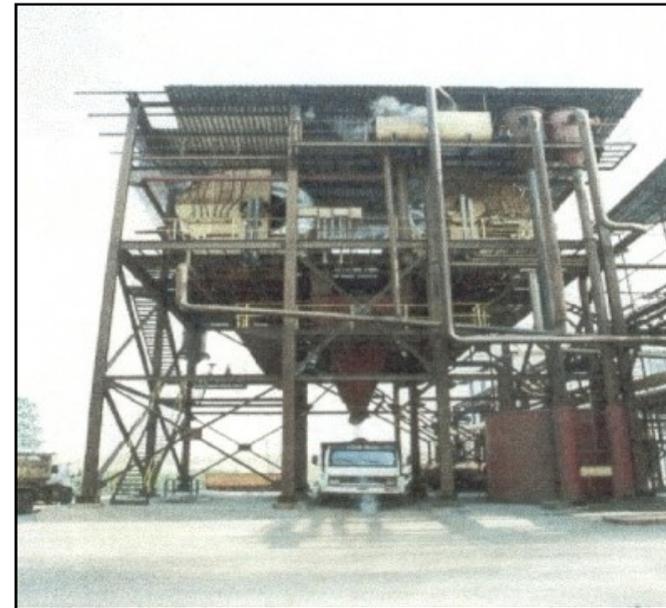


Sistema de operação do filtro rotativo à vácuo

- vácuo para sucção { **Baixo - 10 a 25 cm Hg**  
**Alto - 20 a 50 cm Hg**



**Filtro rotativo**



Descarregamento do lodo em filtro de  
13" x 32"



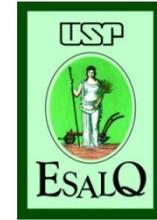
## Filtro tipo Prensa desaguadora



[https://www.youtube.com/watch?v=AklW3\\_j52lw](https://www.youtube.com/watch?v=AklW3_j52lw)



## 11 CONSIDERAÇÕES FINAIS



- ✓ A purificação do caldo visa retirar o máximo de impurezas do caldo;
- ✓ Os processos de purificação do caldo para a produção de etanol e açúcar devem ser conduzindo obedecendo as características peculiares para cada linha de produção;
- ✓ A purificação do caldo é realizada por processos mecânicos, físicos e químicos;



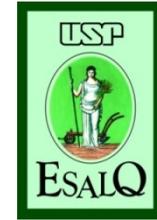
## 11 CONSIDERAÇÕES FINAIS



- ✓ Os principais equipamentos envolvidos na purificação do caldo são: peneiras, aquecedores, decantadores e filtros a vácuo;
- ✓ O principal agente químico utilizado na purificação do caldo é a cal. Contudo, outros agentes químicos podem ser utilizados;



# PURIFICAÇÃO DO CALDO

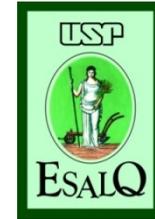


## 11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- ✓ Com a clarificação do caldo tem-se menor desgastes de equipamentos e melhor operacionalidade na condução da evaporação do caldo;
- ✓ Para a produção de açúcar cristal branco faz-se necessária a sulfitação do caldo;
- ✓ A obtenção do caldo clarificado pode ser através do uso de decantadores com várias bandejas ou com bandeja única.



# PURIFICAÇÃO DO CALDO



## 12 Referências

- DELGADO, A. ; CESAR, M.A.A. **Elementos de Tecnologia e Engenharia do açúcar de cana.** Piracicaba : Zanini,1990. 1061p.
- PAYNE, J.H. **Operações unitárias na produção de cana-de-açúcar.** São Paulo: NOBEL, 1989. 245p.
- RIBEIRO, C., BLUMER, S., HORII. **Fundamentos de tecnologia sucroalcooleira: tecnologia do açúcar.** Piracicaba: ESALQ/Depto de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, V.2, 1999. 66p.
- 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.



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

## LAN 1458 – Açúcar e Álcool

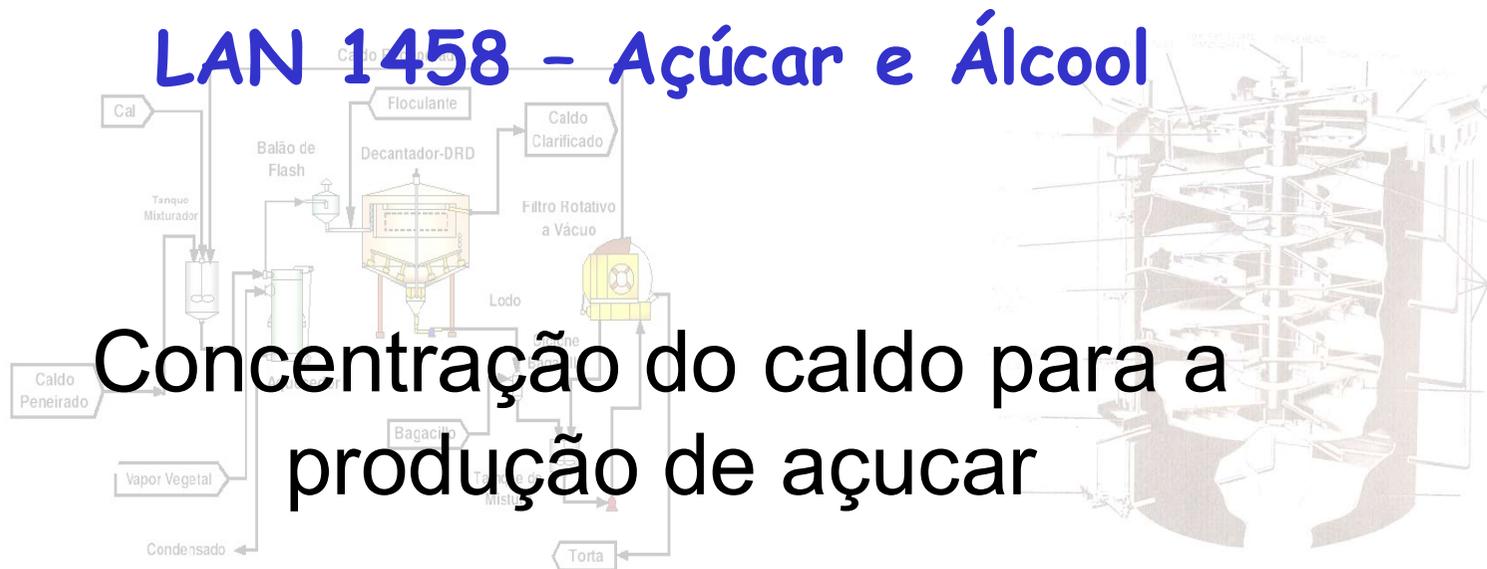
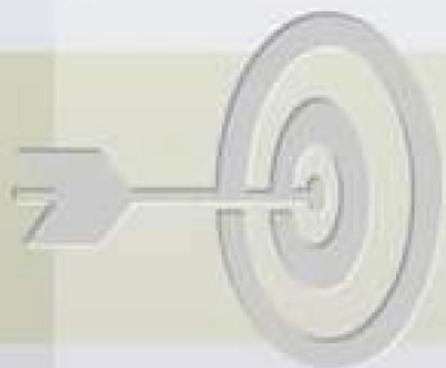


FIGURE 6.1. RapiDorr 444 Clarifier. (Dorr-Oliver)

Prof. Antonio Sampaio Baptista



## EVAPORAÇÃO



### Objetivo

**Eliminar a água** presente no caldo clarificado para que o açúcar se concentre até a **formação de cristais**.

### Duas etapas:

#### Evaporação

Propriamente dita

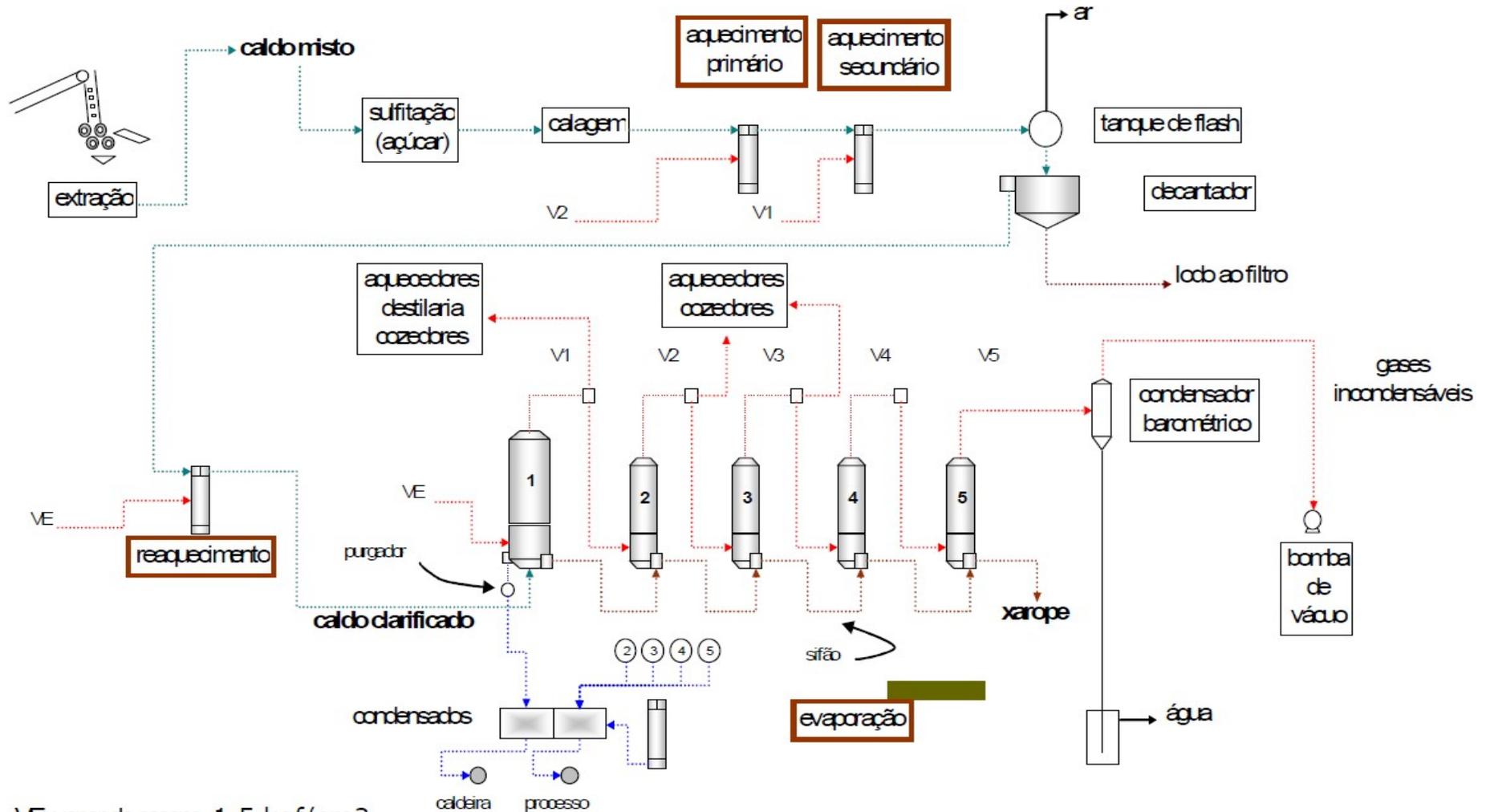
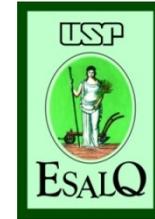
15° a 55-70° brix

#### Cozimento

55 a 70° a  
92 a 95° brix



# Introdução



VE vapor de escape 1,5 kgf/cm<sup>2</sup>

V1 a V5: vapor vegetal do efeito correspondente

## 1. INTRODUÇÃO

caldo misto decantado - solução diluída (13 a 15°Brix)  
 - massa cozida (solução super concentrada: 90 - 95°Brix)

Remoção água - 2 fases -  
 - evaporação - sistema de múltiplos efeitos (xarope 55-65°Brix)  
 - cozimento - sistema de simples efeito

Evaporação contínua → Pré-evaporação  
 → Evaporação  
 cozimento → em batelada ou intermitente  
 → contínuo

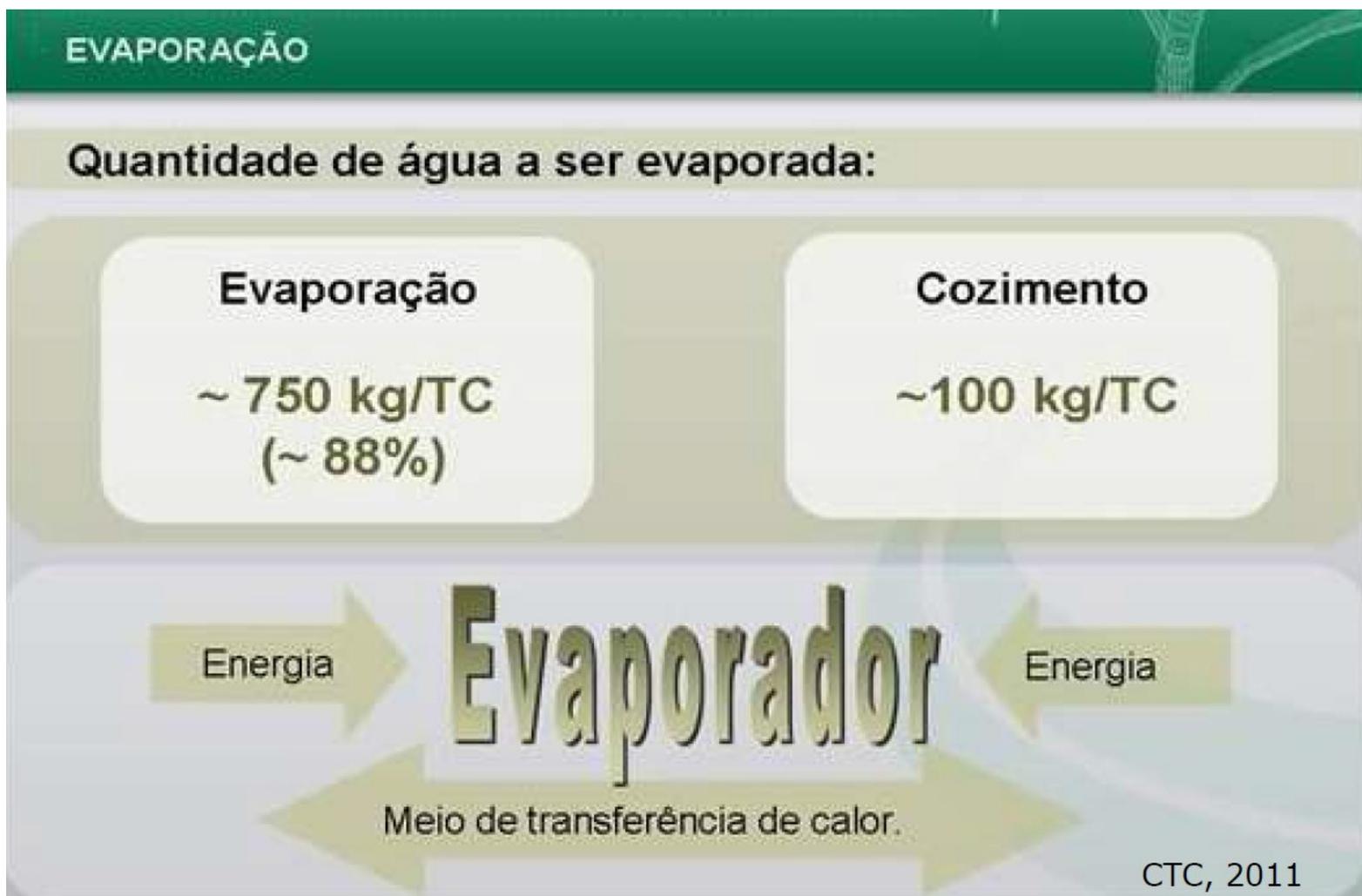
**temperatura caldo decantado → mais próxima da temperatura da caixa**

Justificativas:

- maior consumo de vapor;
- difícil manuseio da massa cozida;
- necessidade de maior número de equipamentos;
- necessidade de maior número de operações.

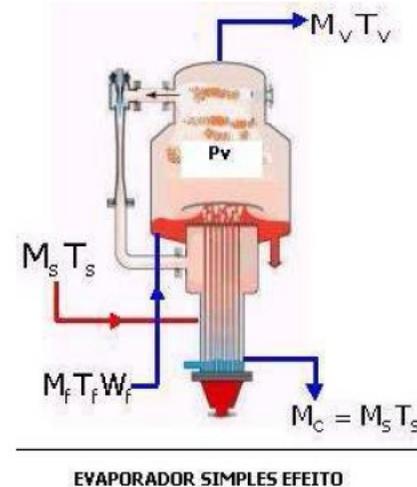
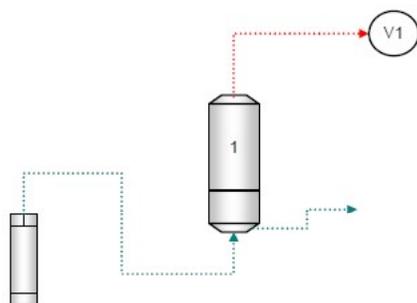


# Introdução

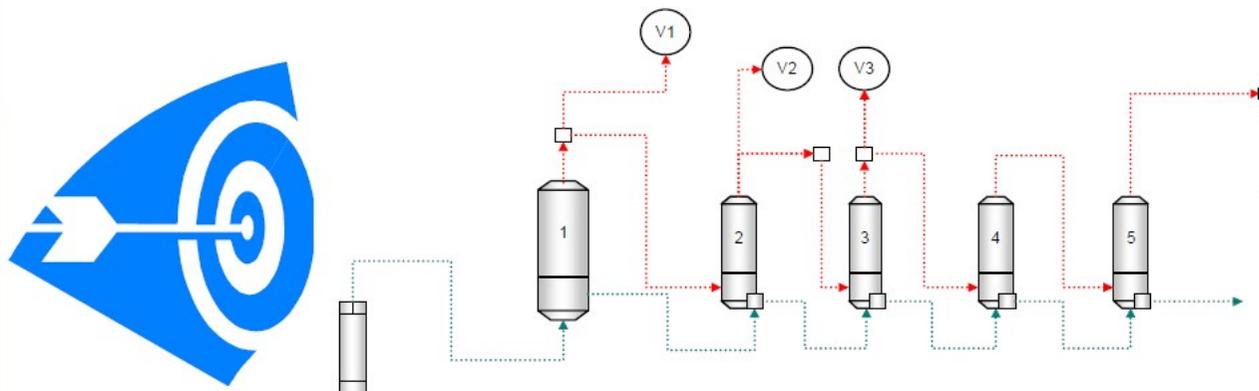


## ARRANJOS MAIS FREQUENTES DAS PLANTAS DE EVAPORAÇÃO

**Simple efeito;** usado em destilarias autônomas

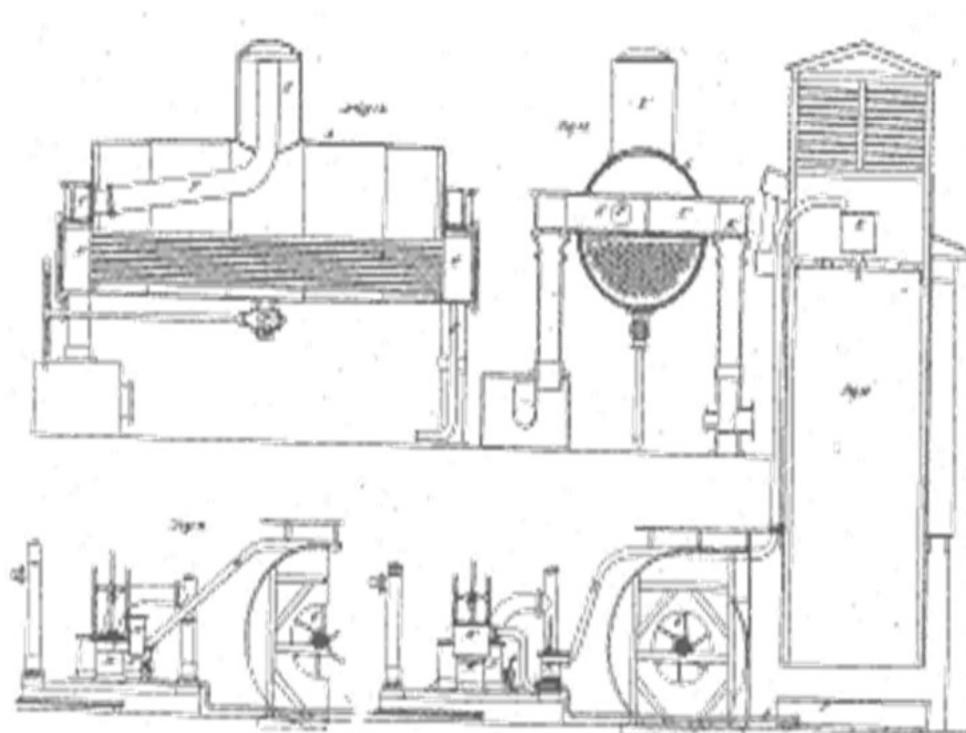


**Multiplo efeito;** usado em fabricas de açúcar e em destilarias autônomas em condições especiais



# NORBERT RILLIEUX

## Princípios termodinâmicos da Evaporação



## 2.2. PRINCÍPIOS DE EVAPORAÇÃO EM MULTIPLO-EFEITO (Fundamentos)

- ❖ Norbert Rillieux → foi o primeiro a definir os princípios básicos de evaporação - 1848.



### a) Primeiro Princípio:

“Em um evaporador de múltiplos-efeitos, cada quilograma de vapor, usado no primeiro vaso, evaporará tantos quilogramas de água quantos forem os números de vasos.”

quantos evaporadores posso ter ???



## a) Primeiro Princípio:

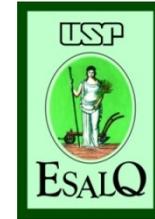
Diante deste princípio, tem-se que:

- no simples-efeito: 1 kg de vapor evapora 1 kg de água;
- no duplo-efeito: 1 kg de vapor evapora 2 kg de água;
- com n vasos: 1 kg de vapor evapora n kg de água.





# Princípios da evaporação



## b) Segundo Princípio:

“ A extração de vapor de qualquer unidade de um evaporador de múltiplo-efeito para ser usado em outro setor da fábrica conduz a uma economia que será igual ao número de quilogramas de vapor extraído, dividido pelo nº de vasos do conjunto e multiplicado pelo nº de ordem que o corpo ocupa”

Exemplificando-se, que  $W$  o peso de vapor,  $M$  o nº de vasos e  $N$  o nº de ordem que o vaso ocupa no conjunto de evaporação, a economia de vapor  $E$  será igual a:

$$E = \frac{W \cdot N}{M}$$



$$E_{1^\circ \text{ vaso}} = 1 \cdot \frac{1}{4} = \frac{1}{4} \quad \dots \quad E_{3^\circ \text{ vaso}} = 1 \cdot \frac{3}{4} = \frac{3}{4}$$

- **Prática** → utiliza-se vapores dos vasos → aquecimento parcial do caldo ou outros fins. Entretanto, últimos vasos →  $t$  °C mais baixas → sangria difícil.

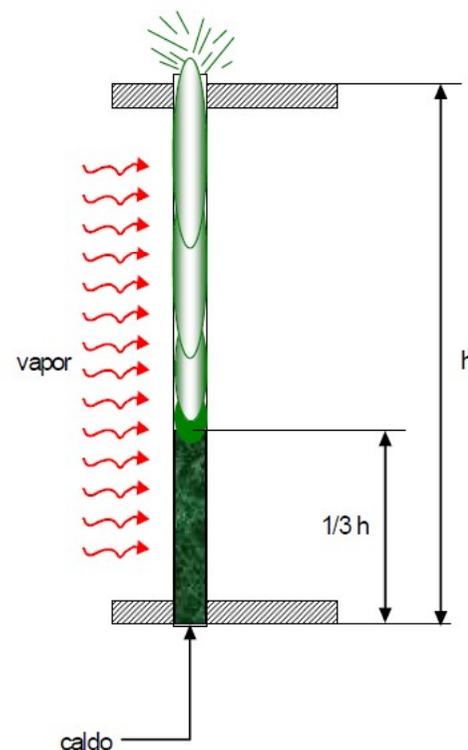
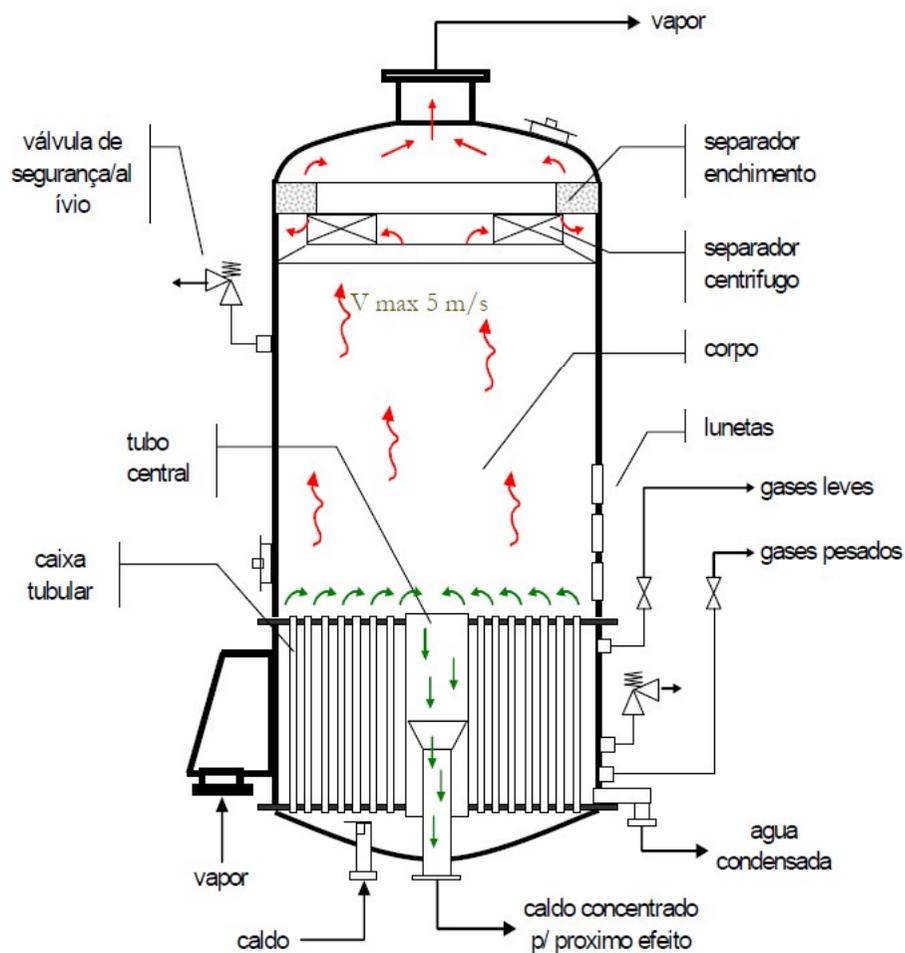


## c) Terceiro Princípio:

“Em todo aparelho no qual se condensa vapor, é necessária extrair continuamente o acúmulo de gases incondensáveis que ficam, internamente”.

- **Prática** → instalam nos evaporadores dispositivos mecânicos para a extração dos gases incondensáveis.

## 3.5 - Principais características construtivas dos evaporadores (Roberts)

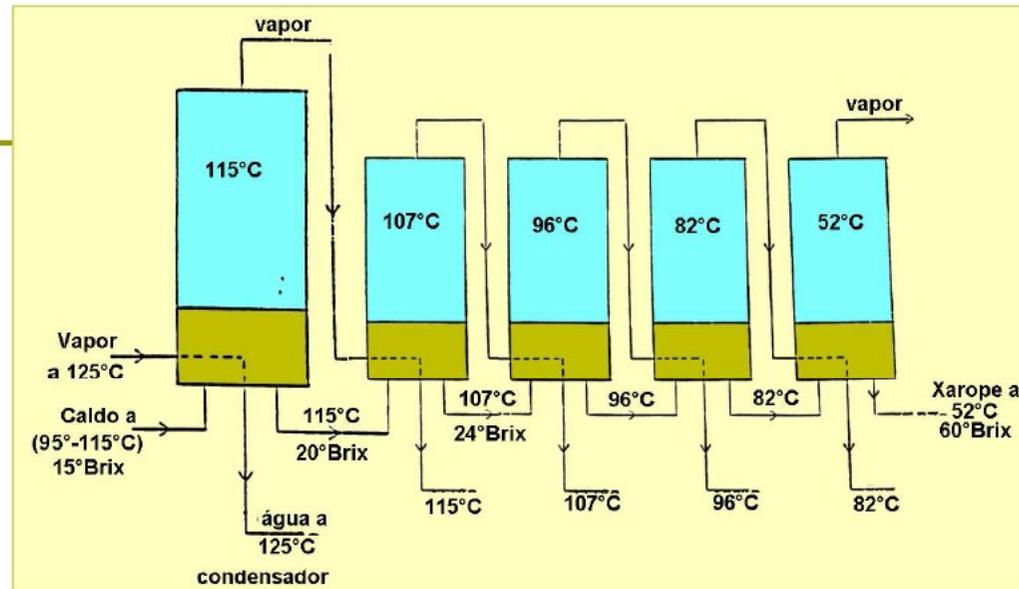




# Evaporadores de múltiplos-efeitos



## 2.5. FUNCIONAMENTO DE UM MÚLTIPLO-EFEITO



### Relações entre pressões, temperaturas e Brix.

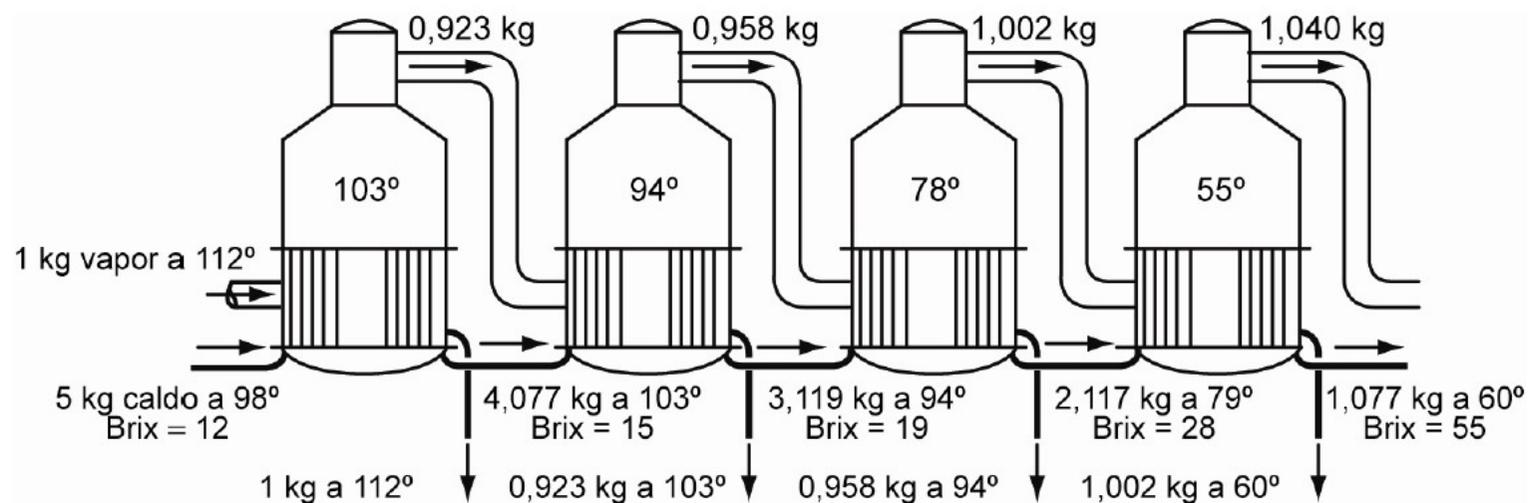
		Pré	1° V	2° V	3° V	4° V
Calandra	P (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,33	0,69	0,28	—	—
	V (cmHg)	—	—	—	10	37
	T (°C)	125	115	107	96	82
Câmara gases	P (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,69	0,28	—	—	—
	V (cmHg)	—	—	10	37	66
	T (°C)	115	107	96	82	52
Caldo Brix	Entrada	15	20	24	29	38
	Saída	20	24	29	38	60



# Evaporadores de múltiplos-efeitos



## BALANÇO TÉRMICO E DE MASSA





# Efeitos da evaporação do caldo



## TRANSFORMAÇÃO

### Transformações Físico-químicas no Caldo Durante a Evaporação

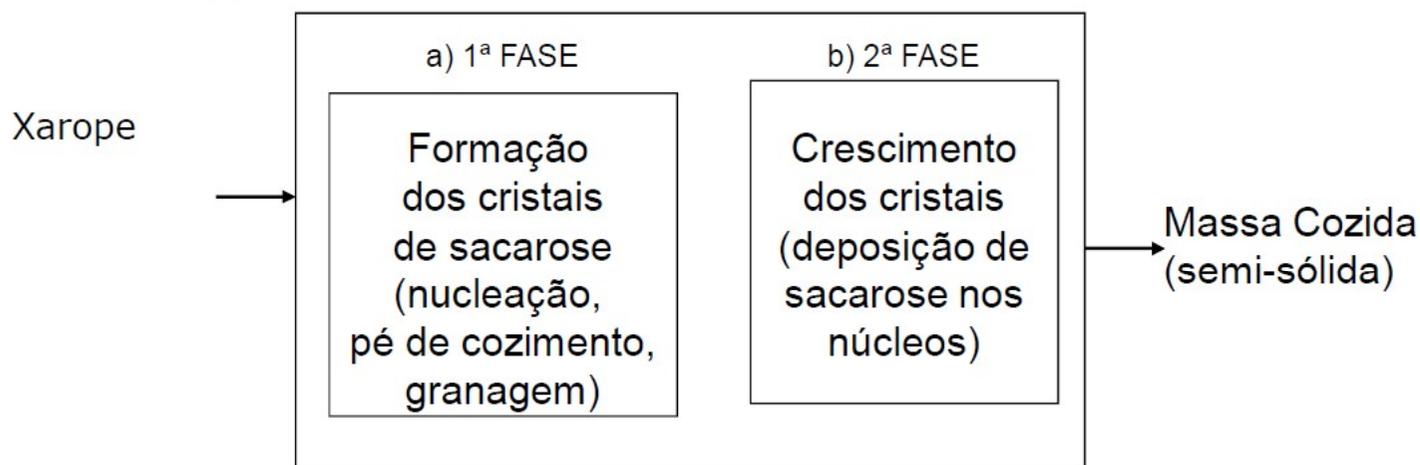
Durante o processo de evaporação, mudanças físico-químicas ocorrem afetando a composição e propriedades dos sólidos dissolvidos no caldo.

### Formação de Cor

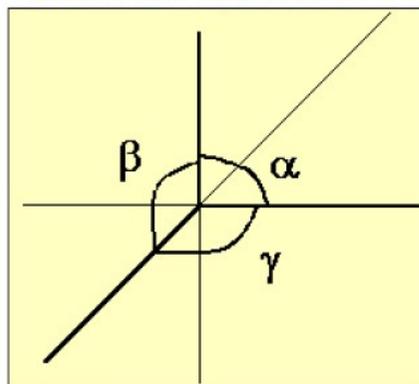
- Formação de cor é maior no primeiro corpo onde a **temperatura** é mais alta. O limite máximo de temperatura deve ser respeitado para minimizar este efeito.
- Formação de cor também é causada por deficiente **circulação** do caldo na calandra e altos tempos de retenção.
- Quando o **vácuo** é baixo, a temperatura do sistema sofre uma elevação, aumentando a formação de cor.

## COZIMENTO DO XAROPE

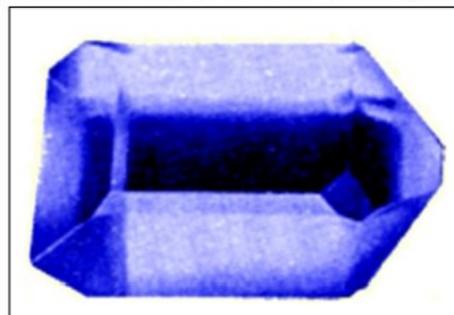
### INTRODUÇÃO



Sacarose cristaliza



- sistema monoclinico
- 3 eixos: a, b e c e 3 ângulos  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$





# Cozimento



## SOLUBILIDADE DE SACAROSE

### Solubilidade da sacarose pura em água

Soluções classificadas como:

- Diluída, instável ou não saturada
- Concentrada, estável ou saturada
- Super concentrada, instável ou super-saturada

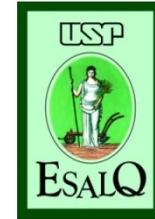
- caldo cana, xarope e méis - soluções diluídas
- cristalização - ocorre - solução super-saturadas
  - Massa Cozida

- A sacarose, a semelhança de outras substâncias químicas, é altamente solúvel em água. Esta solubilidade, entretanto, sofre influência dos sais minerais e do açúcar redutor. De modo geral, os sais minerais tendem a aumentar a solubilidade da sacarose, enquanto o açúcar invertido tende a diminuir.

- Sais minerais: substâncias melacigênicas positivas
- Açúcares redutores: substâncias melacigênicas negativas



# Cozimento



## Zonas de Supersaturação e a Cristalização

### 1 - Zona Metaestável (CSS: 1,0 a 1,2)

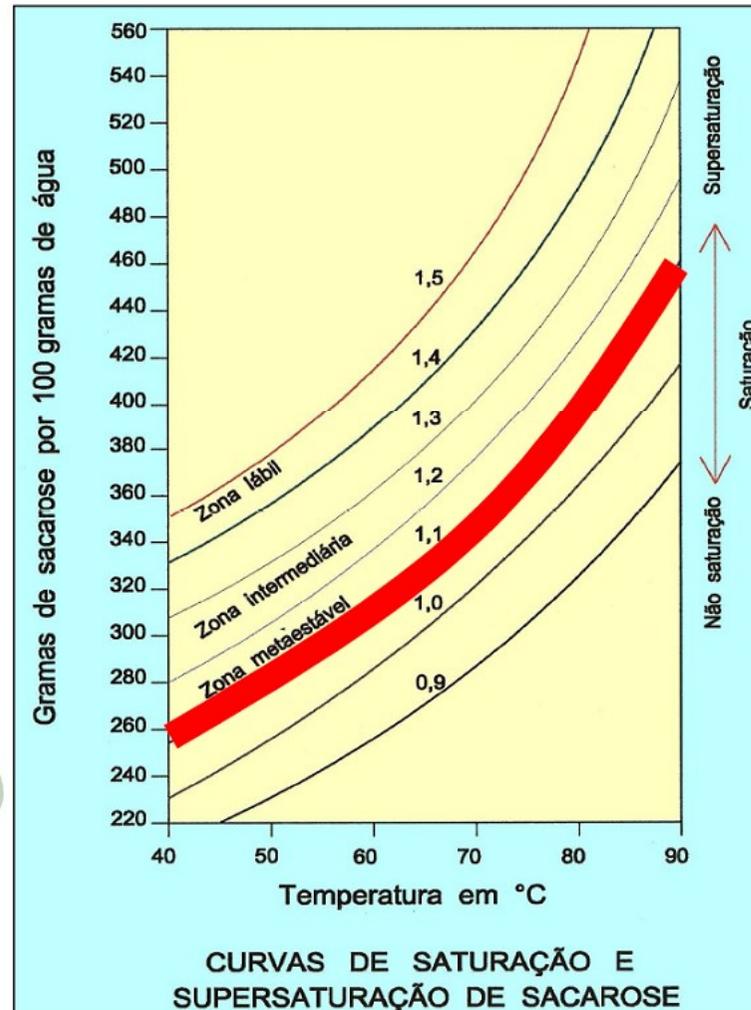
- apenas crescimento dos núcleos cristalinos existentes;
- não ocorre nucleação ou formação de sacarose como cristal;
- tendência do coeficiente de supersaturação se aproximar do limite inferior.

### 2 - Zona intermediária (CSS: 1,2 a 1,3)

- crescimento dos cristais existentes;
- formação de novos núcleos ou de falsos cristais (falso grão);
- tendência do CSS atingir o limite superior da zona metaestável.

### 3 - Zona lábil (CSS: $\geq 1,3$ )

- ocorrência de nucleação espontânea da sacarose;
- tendência de abaixamento do CSS para limite superior da zona intermediária.



CSS > 1.0

CSS = 1.0

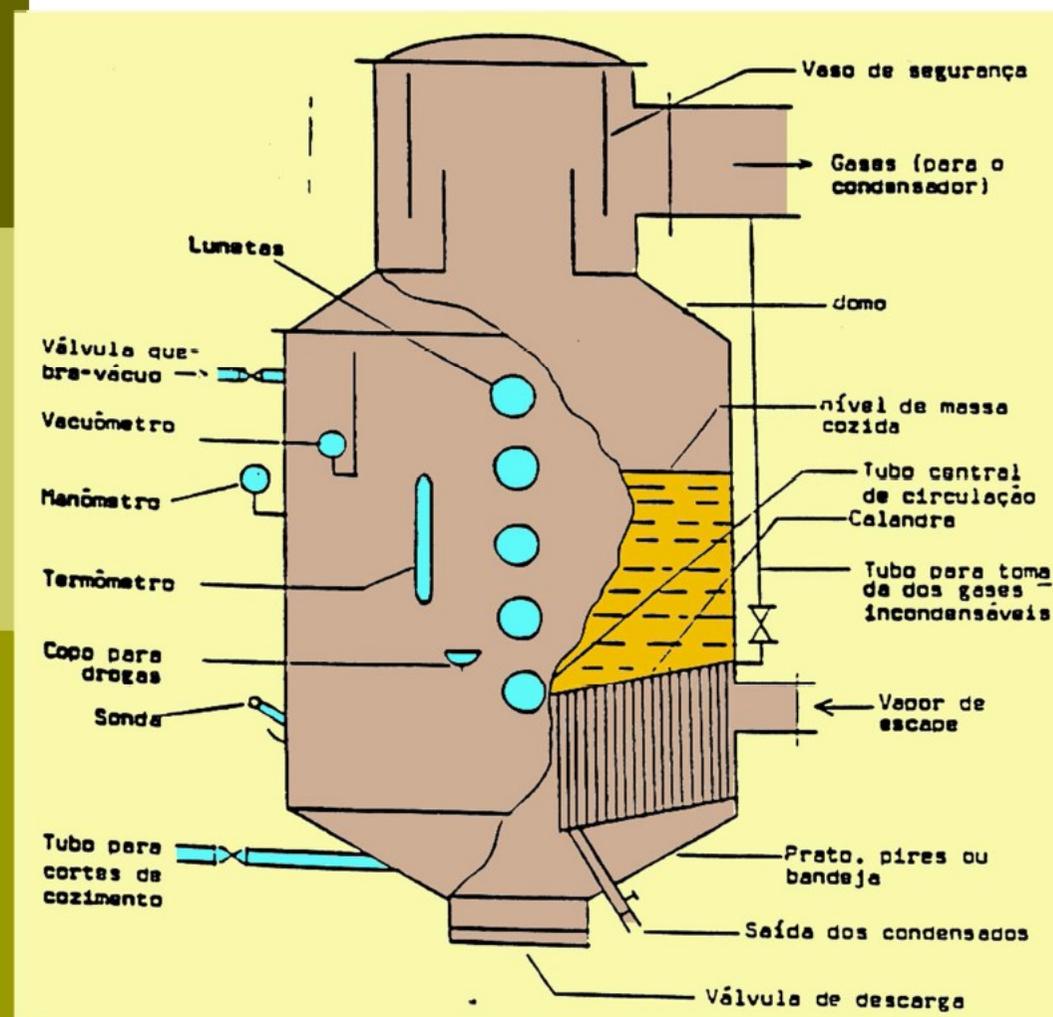
CSS < 1.0

## b) Nucleação da sacarose

### Métodos de formação dos cristais

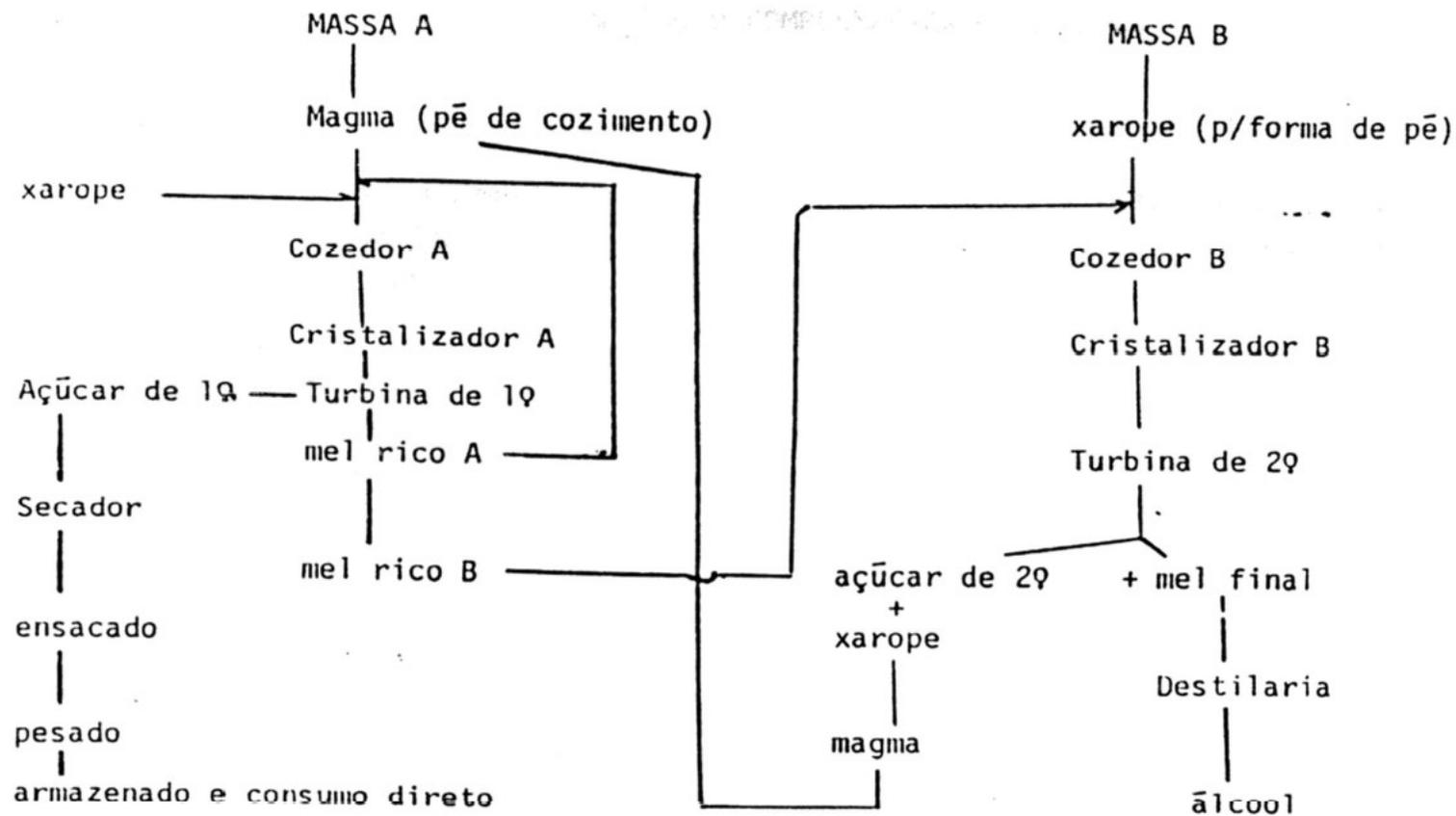
- (1) **Espera:** aparecimento espontâneo de cristais em condição de supersaturação na zona hábil
  - Identificação do ponto: (a) aparelho de controle (índice de refração, elevação de temp., pureza, etc); (b) observação visual (velocidade de escorrimento do xarope no vidro da luneta).
- (2) **Choque:** obtida em condições de temperatura mais elevada (72°C) e sob vácuo ( $\pm 24''$  - 50cmHg)  $\rightarrow$  temperatura cai rápido (60cmHg - t = 61°C) atingida a zona lábil e forma cristais
- (3) **Indução:** conc. zona intermediária introduz com pó de sacarose (pé de açúcar), por ocorrer a cristalização.
- (4) **Semeadura:** insere-se um número de núcleos, determinando-se e controlando o tamanho dos cristais. O crescimento dos cristais mantido na zona metaestável (CSS de 1,1 a 1,2).

## 3.4.1. DESCRIÇÃO DE UM COZEDOR INTERMITENTE CLÁSSICO





# Cozimento



Esquema de Cozimento de duas Massas



## Cozimento



**Obrigado pela atenção**