



**Universidade de São Paulo – USP**

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



## **LAN 0300 – AÇÚCAR, FERMENTAÇÕES E BEBIDAS**

**PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR:**

**AÇÚCAR VHP**

**AÇÚCAR CRISTAL BRANCO**

**AÇÚCAR REFINADO**



**Prof. Antonio Sampaio Baptista**



# PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR



## CLARIFICAÇÃO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR



# PURIFICAÇÃO DO CALDO



## 1. INTRODUÇÃO

- ✓ Do ponto de vista físico-químico o caldo é definido como uma solução que contém matéria em diversos graus de dispersão, desde partículas grosseiras até íons.

Tabela 1 - Classificação das partículas dispersas no caldo de cana

| Dispersões                 | Diâmetro ( $\mu$ ) | % peso     | Espécies  |
|----------------------------|--------------------|------------|---|
| <b>Grosseiras</b>          | > 1                | 2 - 5      | Bagacilho, areia, pedregulho, gravetos, etc.  |
| <b>Coloidais</b>           | 0,001 a 1          | 0,05 - 0,3 | Ceras, gorduras, proteínas, colóides, corantes, amido, tanino, gomas e dextranas, resultantes do crescimento e da ação de microrganismos, etc.                                      |
| <b>Moléculas e Iônicas</b> | < 0,001            | 8 - 21     | Açúcares: sacarose, glicose e frutose;<br>Sais inorgânicos: fosfato, sulfato de Ca, Mg, K, Na, etc. Ácidos orgânicos: ácido aconítico, oxálico, málico, etc. Substâncias coloidais. |



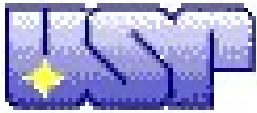
## Processo de purificação do caldo para produção de açúcar

- ✓ Produção de açúcar bruto – VHP

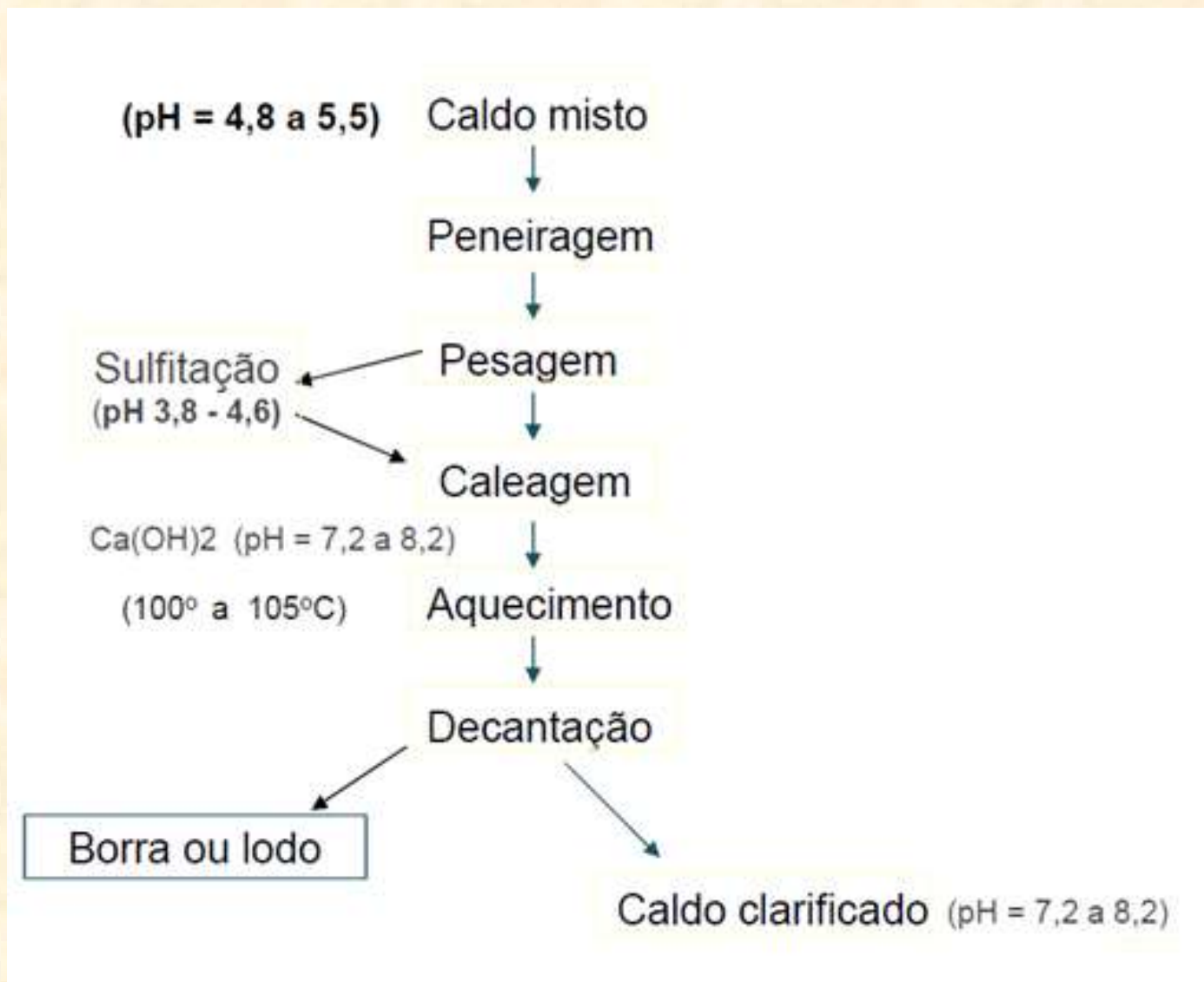


- ✓ Produção de açúcar cristal branco





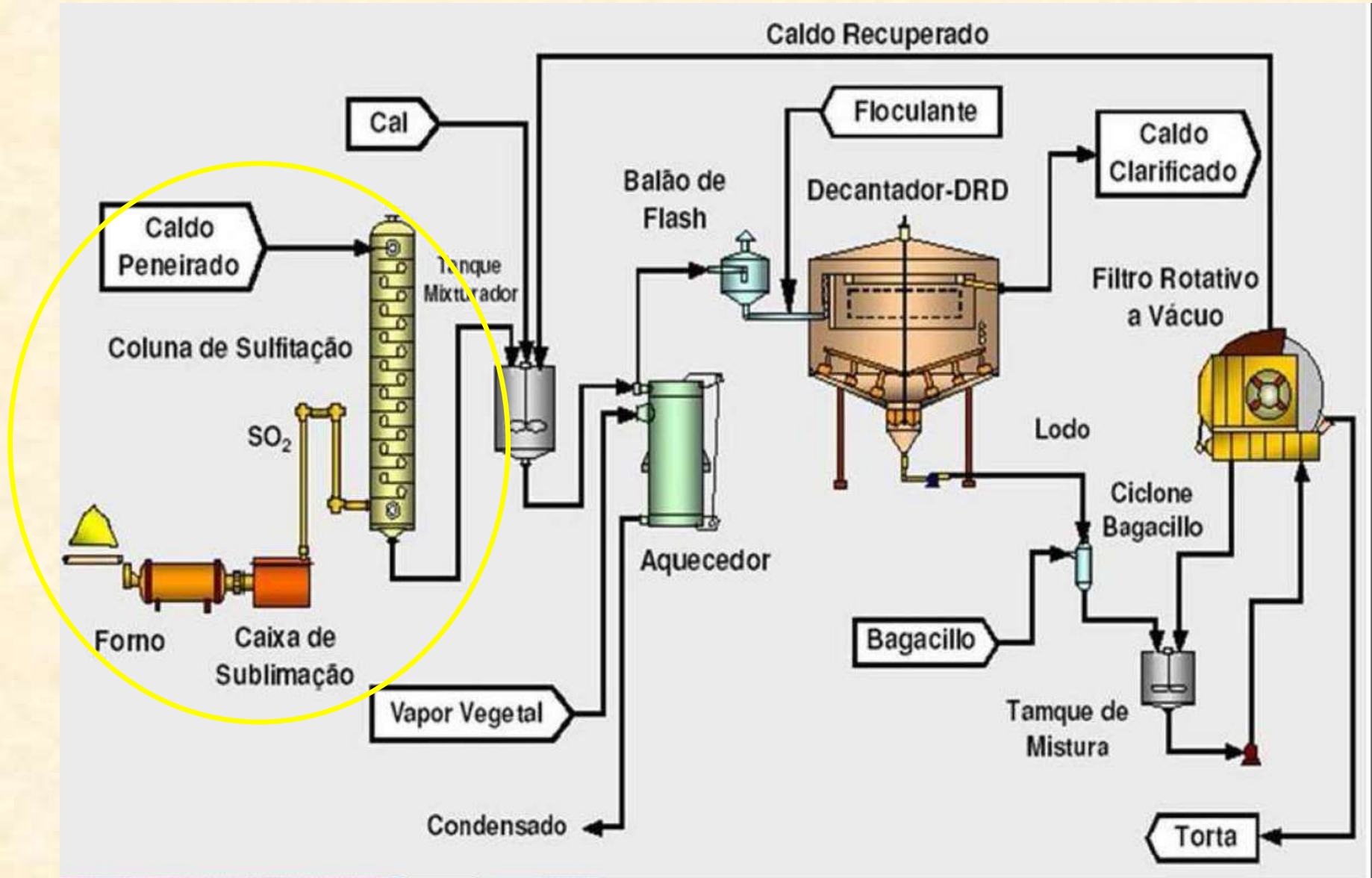
# CLARIFICAÇÃO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR CRISTAL BRANCO

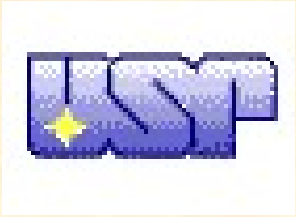


Esquema da clarificação do caldo para produção de açúcar Cristal Branco



# CLARIFICAÇÃO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR CRISTAL BRANCO





# CLARIFICAÇÃO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR CRISTAL BRANCO



## 18 Sulfitação

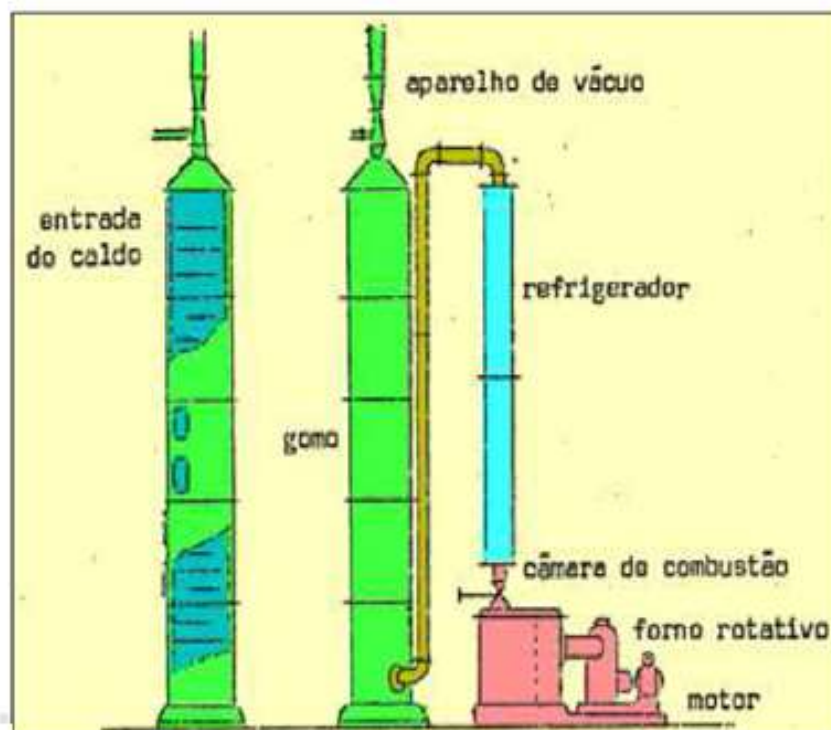
- ✓ O processo consiste na passagem do caldo misto peneirado por uma coluna de formato cilíndrico com as extremidades tronco-cônicas, onde recebe o gás  $SO_2$  em contra-corrente, conferindo-lhe o pH variável entre 3,8 a 4,3.
- ✓ O anidrido sulfuroso exerce diversas funções sobre o caldo: ação purificante, descorante dada pelo abaixamento do pH, neutralizante, fluidificante, preservativa, precipitativa e inversiva se desejável.

## 2 Sulfitação

### SISTEMAS DE ADIÇÃO DO GÁS (SO<sub>2</sub>)

Sistema de absorção (SO<sub>2</sub>) {  
 colunas de sulfitação  
 multijato de sulfitação  
 misto

#### ▶ a) COLUNA DE SULFITAÇÃO





## 2 Sulfitação



a) coluna de sulfitação



b) forno de queima de enxofre

Eficiência do equipamento de sulfitação

dimensionamento do equipamento  
sistema de contato - caldo / gás  
qualidade do gás

Consumo de enxofre - 280-300g/TC



# PURIFICAÇÃO DO CALDO



## 2 Sulfitação

### AÇÕES DO ANIDRIDO SULFUROSO

- ▶ purificante
- ▶ neutralizante
- ▶ inversiva
- descorante
- fluidificante
- precipitativa

#### Ação precipitativa

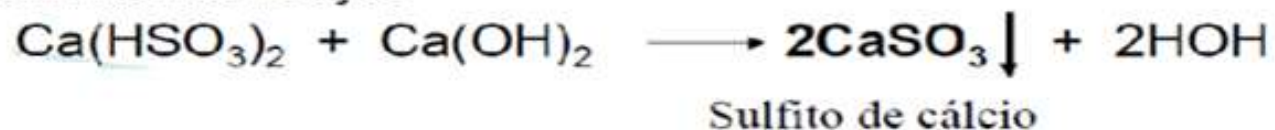
Adição gás sulfuroso

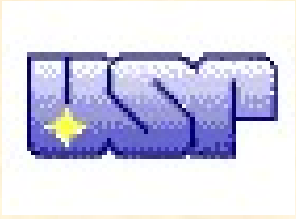


Adição do leite de cal



Continuando reação





# CLARIFICAÇÃO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR CRISTAL BRANCO

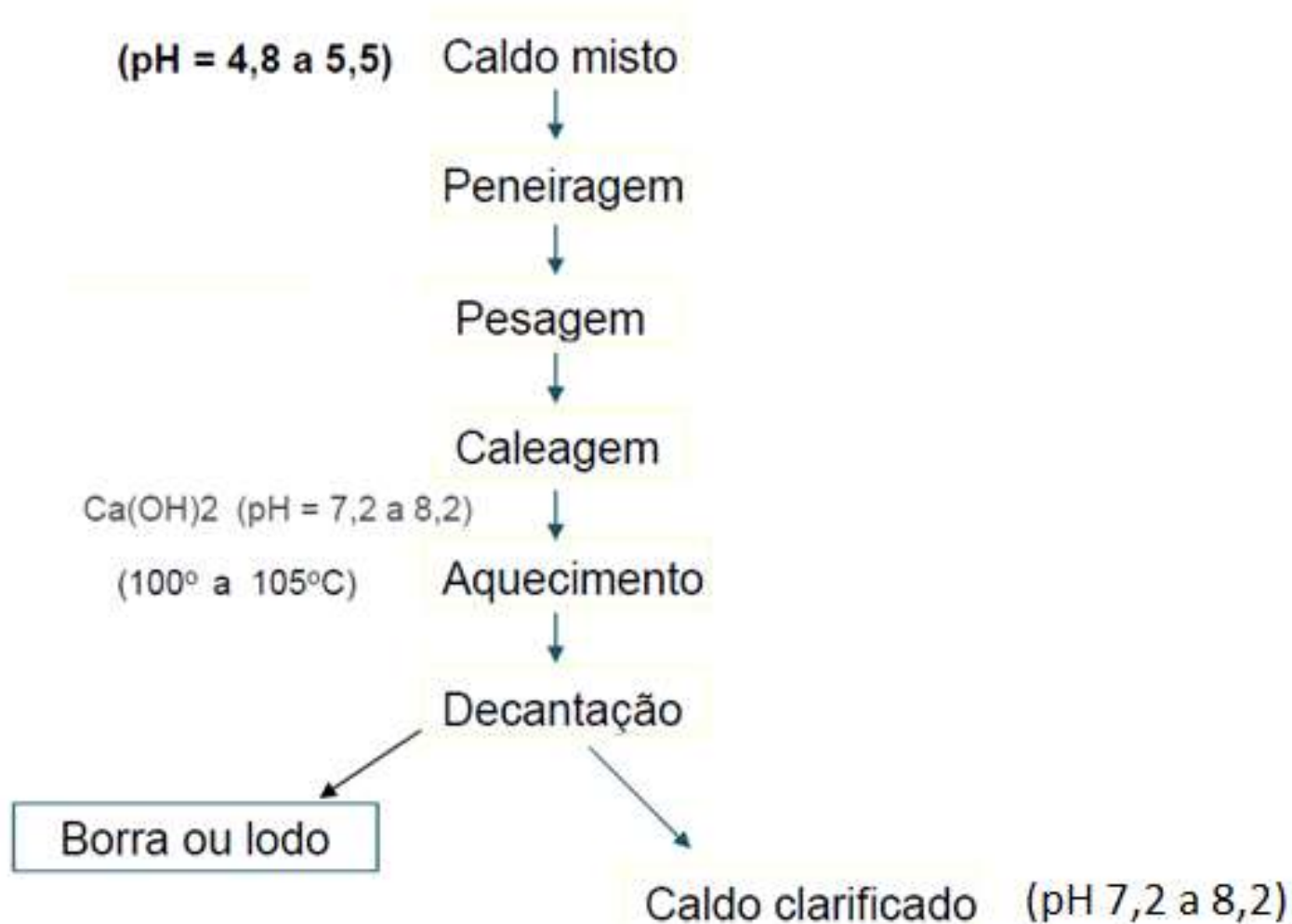


## 19 Caleagem

O processo consiste em se adicionar ao caldo extraído pelas moendas e sulfitado, cujo pH varia de 3,8 a 4,3 , o leite de cal - solução de hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) obtida pela hidratação da cal virgem ( $\text{CaO}$ ) em água - até obtenção de pH entre 7,2 a 8,2, atingindo o ponto isoelétrico das proteínas, fazendo com que elas floculem. Os íons  $\text{Ca}^{2+}$  formam ligações com as cargas negativas dos colóides, auxiliando a agregação destes em flocos.



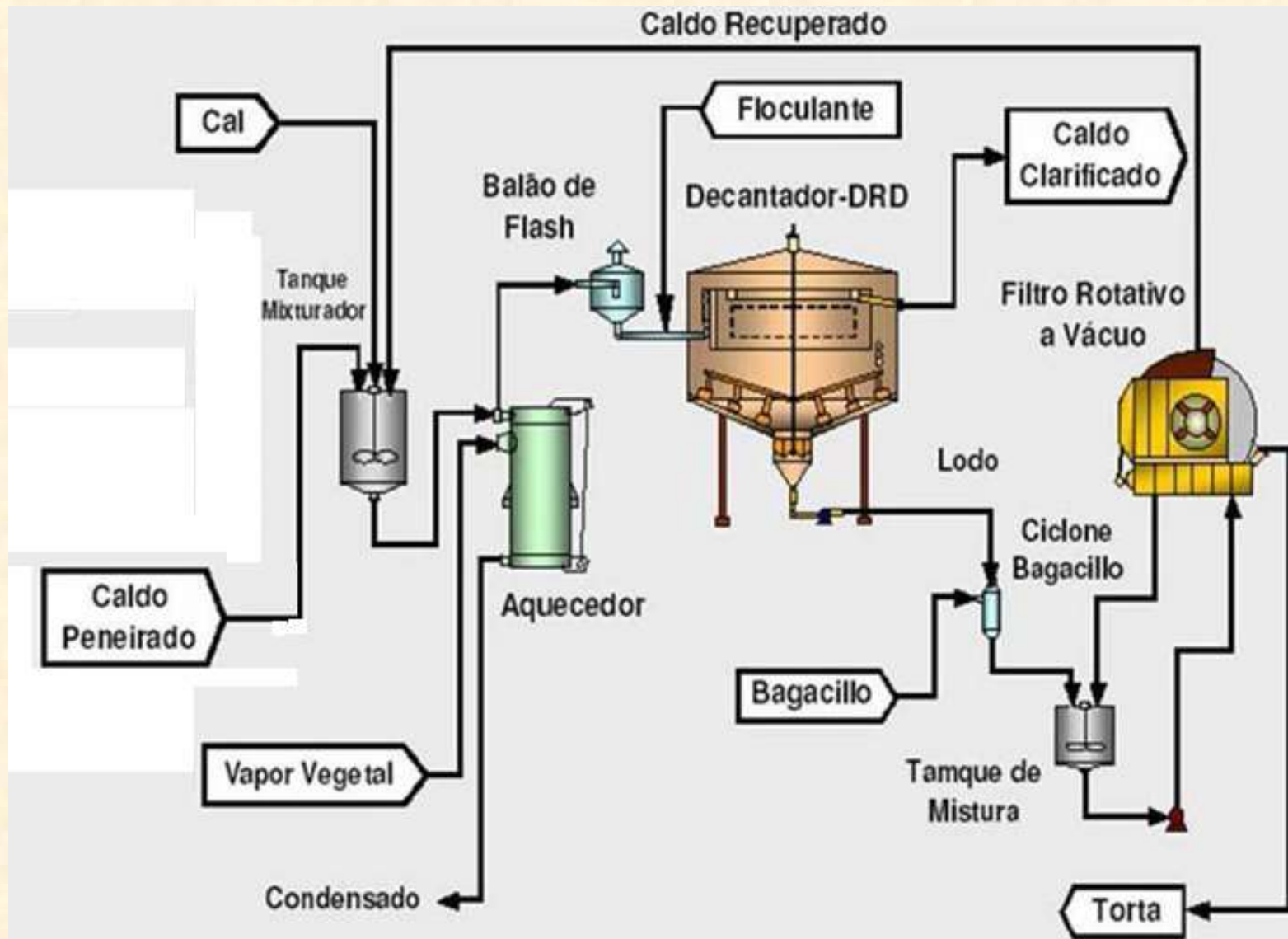
# CLARIFICAÇÃO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR VHP



Esquema da clarificação do caldo para produção de açúcar VHP



# CLARIFICAÇÃO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR VHP



Esquema da clarificação do caldo para produção de açúcar VHP

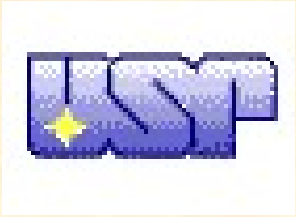


# CLARIFICAÇÃO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR VHP



## 19 Caleagem

O processo consiste em se adicionar ao caldo extraído pelas moendas, cujo pH varia de 4,8 a 5,3, o leite de cal - solução de hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) obtida pela hidratação da cal virgem ( $\text{CaO}$ ) em água - até obtenção de pH entre 7,2 a 8,2, atingindo o ponto isoelétrico das proteínas, fazendo com que elas floculem. Os íons  $\text{Ca}^{2+}$  formam ligações com as cargas negativas dos colóides, auxiliando a agregação destes em flocos.

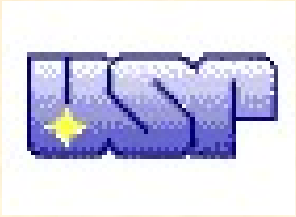


# PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR



## 20 Aquecimento

A operação de aquecimento consiste em se elevar a temperatura do caldo por volta de  $103-105^{\circ}\text{C}$ , a fim de que a floculação dos seus colóides se processe com maior rapidez dada pelo aumento do movimento browniano das partículas coloidais, e eficiência, uma vez que o calor é fator complementar da operação de clarificação do caldo.



# PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR



## 21 Decantação para produção de açúcar

A decantação é um estágio do processo que objetiva separar do caldo a maior quantidade permissível das impurezas em solução ou mesmo em suspensão.

Na fabricação do açúcar a decantação ocorre na mesma temperatura da decantação para a produção de álcool (103 a 105 °C). Contudo, o pH do caldo é maior 7,2 a 8,2 e o tempo de decantação pode variar de 2 a 6 h. Há maior remoção de colóides e elementos presentes no caldo.





# PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR



## 22 Filtração

A operação de filtração visa recuperar o caldo arrastado com as borras ou lodo, o qual tem considerável teor de sacarose (cerca de 2% da sacarose da cana moída).

Esta operação é feita em filtros rotativos à vácuo.

O caldo extraído do lodo retorna ao processo de clarificação, devido à sua maior contaminação. O lodo filtrado, denominado de torta de filtro, consiste num adubo orgânico que é enviado à lavoura.



# PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR



## 23 Evaporação

A evaporação do caldo visa retirar a maior quantidade de água possível do caldo. Normalmente, o caldo entra no evaporador com 13 °Brix e sai com 55 a 65 °Brix. Esta etapa é realizada em equipamentos denominados evaporadores de múltiplos-efeitos. Após passar por tal etapa do caldo concentrado recebe o nome de xarope (55 a 65 °Brix).



# PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR



## 24 Cozimento

Esta etapa é realizada em evaporadores simples. Com a concentração do xarope de 50 a 65 °Brix até a saturação da massa cozida (80 a 95 °Brix - depende do equipamento). Com essa concentração começa ocorrer a deposição e a formação dos cristais de açúcar.



# PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR



## 25 Cristalização

Após a operação de cozimento chegar ao seu final, a massa cozida é descarregada em equipamentos conhecidos, por cristalizadores.

A massa cozida, descarregada nos cristalizadores, pode ser mantida nesses equipamentos por um período variável de 6 a 72 horas e, em muitos casos, segue-se quase imediatamente para as turbinas, onde se dá a separação dos cristais.



# PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR

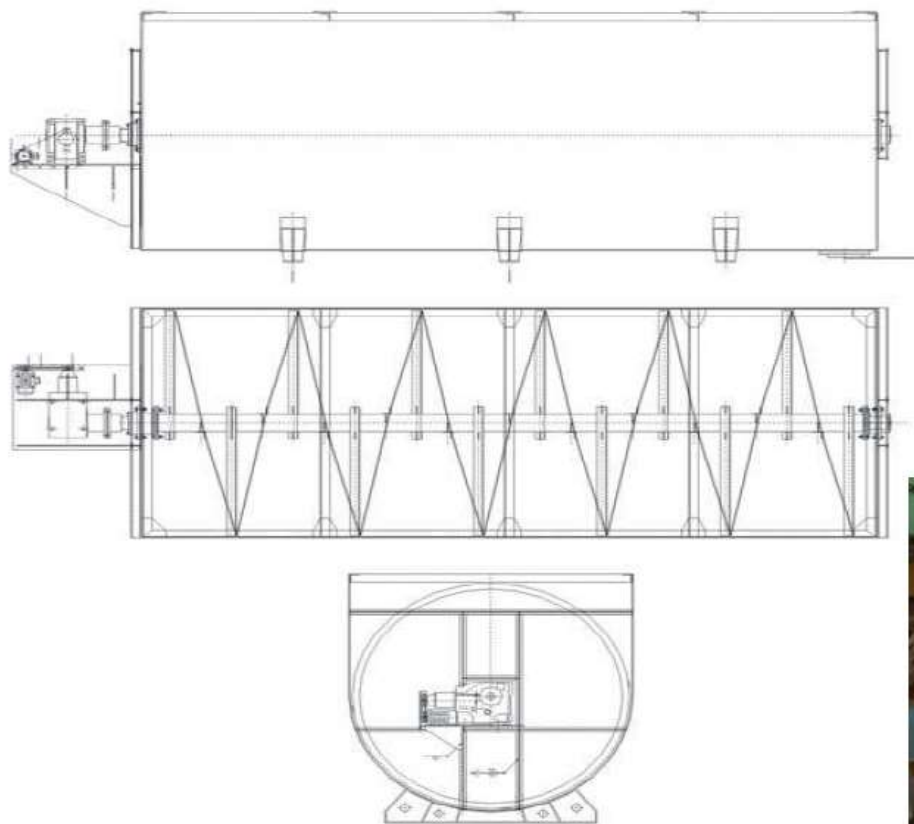


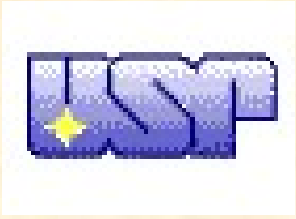
## Cristalização





# Cristalização





# PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR



## 26 Centrifugação

A separação dos cristais da massa cozida é feita pela ação da força centrífuga em centrífugas de tipos variáveis - fluxo intermitente e fluxo contínuo - em função da natureza da massa cozida.

As centrífugas açucareiras constam essencialmente de cesto perfurado suspenso por um eixo ligado a um motor elétrico, que propicia rotações de 1200-2600 rpm.



# PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR



## Centrifugação



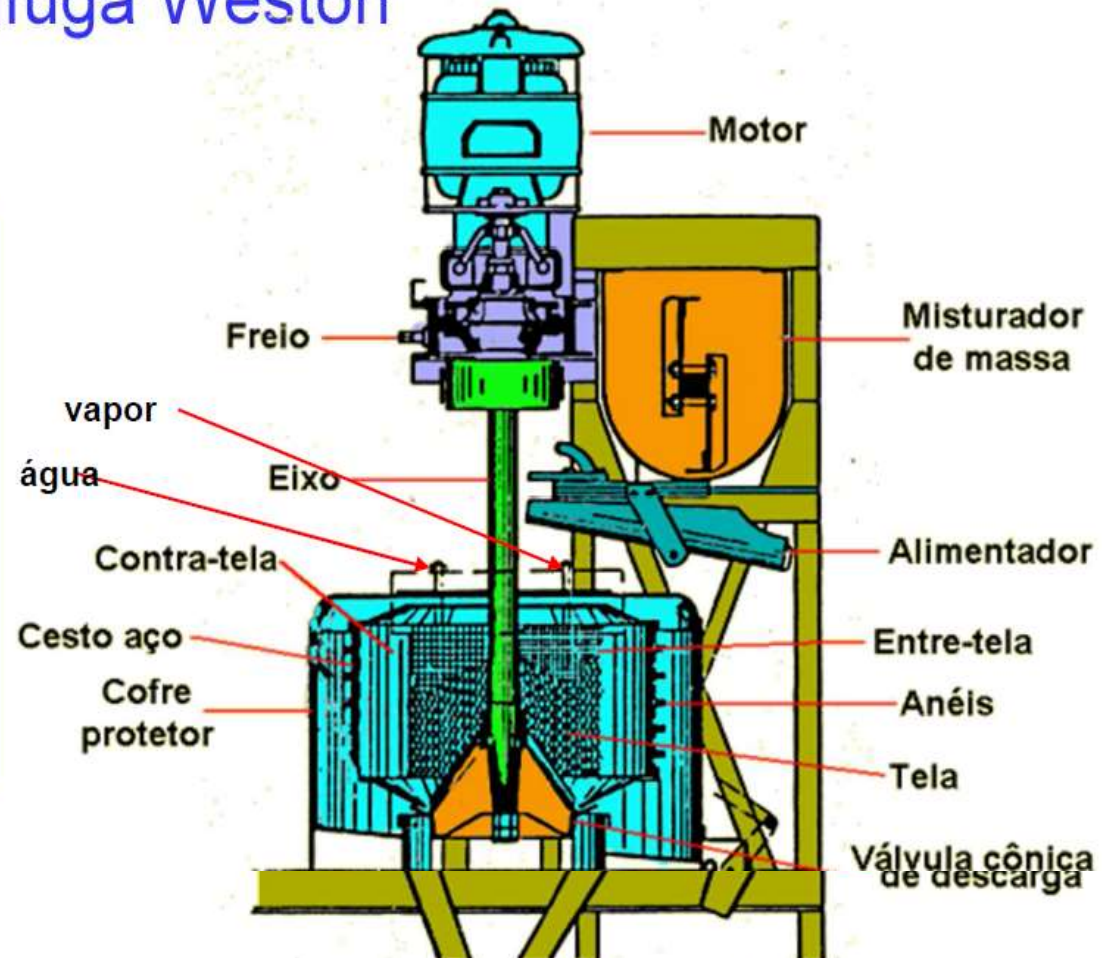


## b) Centrífuga

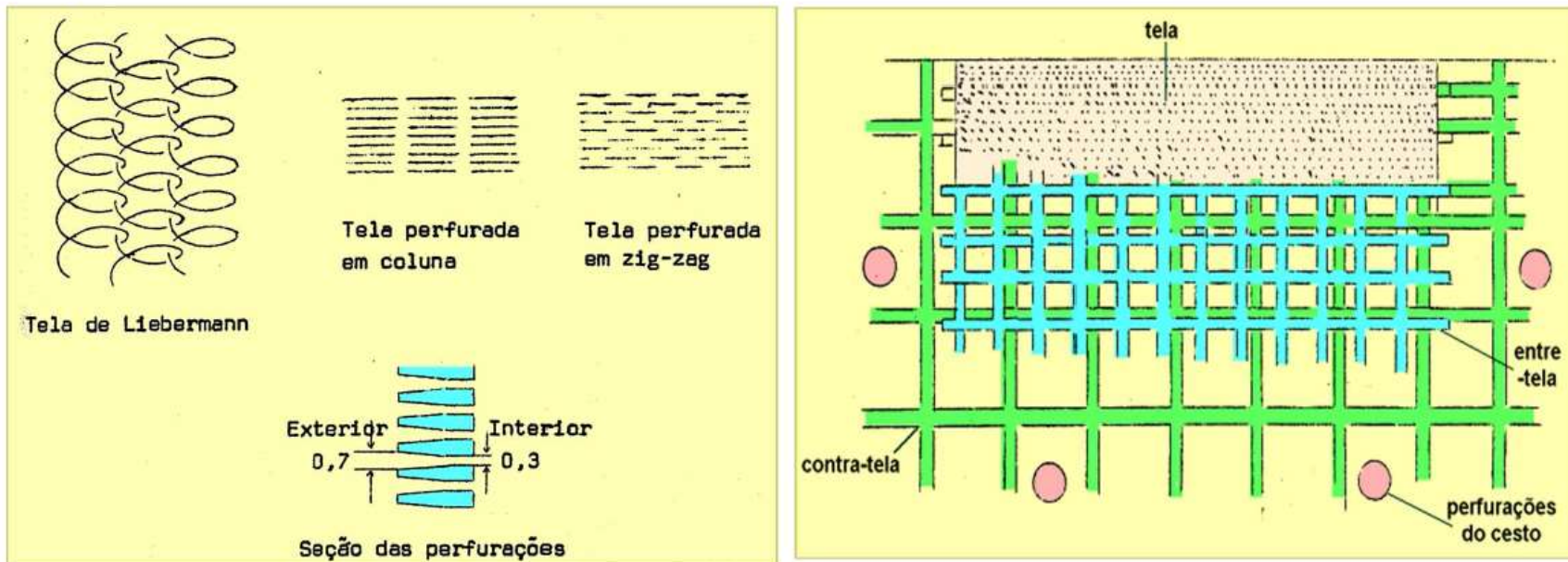
Constituição  
equipamento

mecânico  
pneumático  
elétrico

## Descrição: centrífuga Weston

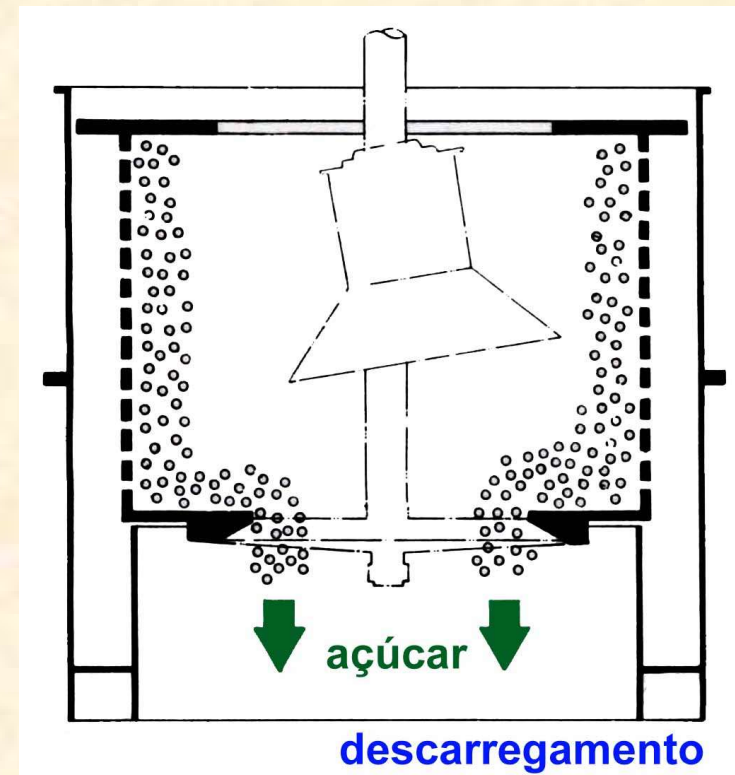
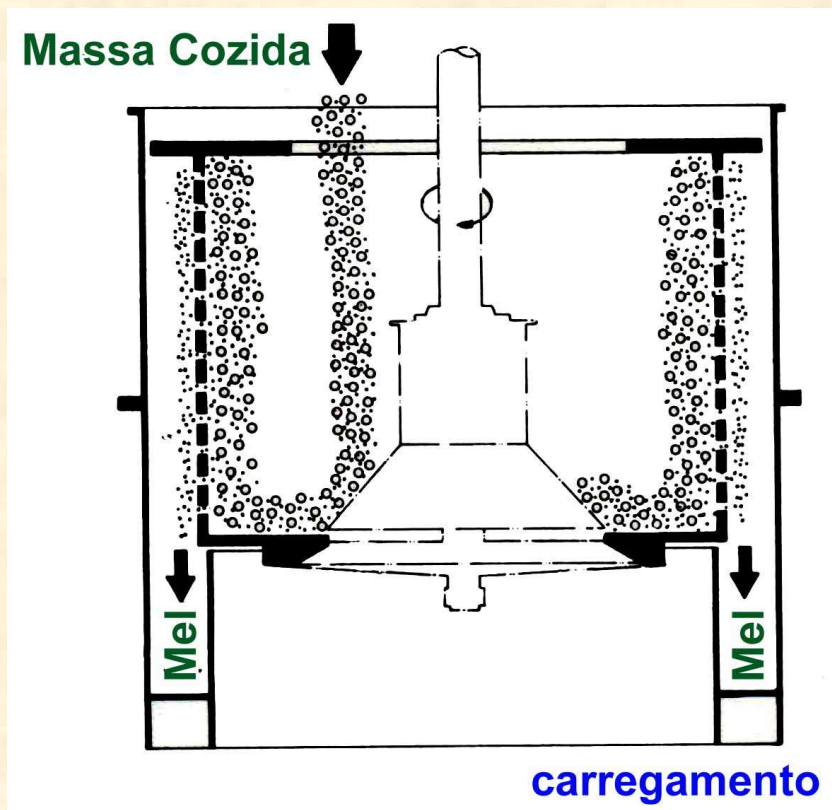


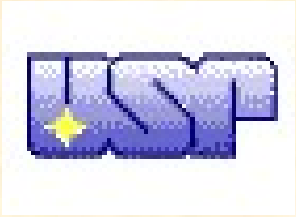
## Detalhe das telas:



- Tela {
- arame trançado em espiral - topo fixo bem menor
  - chapa perfurada {
    - o circular
    - o retangular

## Ilustração da operação de centrifugação





# PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR



## 27 Secagem

O açúcar que deixa as centrífugas encerra um alto teor de umidade, entre 0,5 a 2,0% , e está a uma temperatura relativamente elevada, entre 56-60° C - deste modo não se apresenta em boas condições para ser ensacado e armazenado. Portanto é necessário que se faça uma prévia secagem e resfriamento.

O teor de umidade permissível para preservar a qualidade do açúcar, depende de sua polarização. No caso do açúcar branco, deve-se reduzir a umidade dentro de uma faixa de 0,04 a 0,07%.



# Secagem do Açúcar



Açúcar centrífuga – umidade (0,5 - 2,0%)  
– temperatura (50-60°C)  
Secagem e resfriamento

Sem condição de ensacamento e armazenamento

## FATORES NA QUALIDADE DO AÇÚCAR

Açúcar cristal permanece por longo período de tempo.

- ❖ POL/Umidade; —————> Determina o potencial de resistência ou não à ação de m.o.
- ❖ Temperatura; —————> Influencia a % de decomposição e susceptibilidade ao empedramento.
- ❖ Umidade relativa. —————> Influencia a decomposição e susceptibilidade ao empedramento.



# Secagem do Açúcar



## TIPOS DE SECADORES DE AÇÚCAR

**Classificação**  
(tipos) { Horizontais  
Verticais

### (A) SECADORES HORIZONTAIS

#### Partes (secadores)

- a) tambor rotativo inclinado gira sobre mancais. Duas partes { secagem  
resfriamento
- b) exaustor
- c) separador de pó

#### Açúcar bruto

Umidade relativa = 0,5-2,0%

↓ Secador

Umidade relativa = 0,1-0,2%

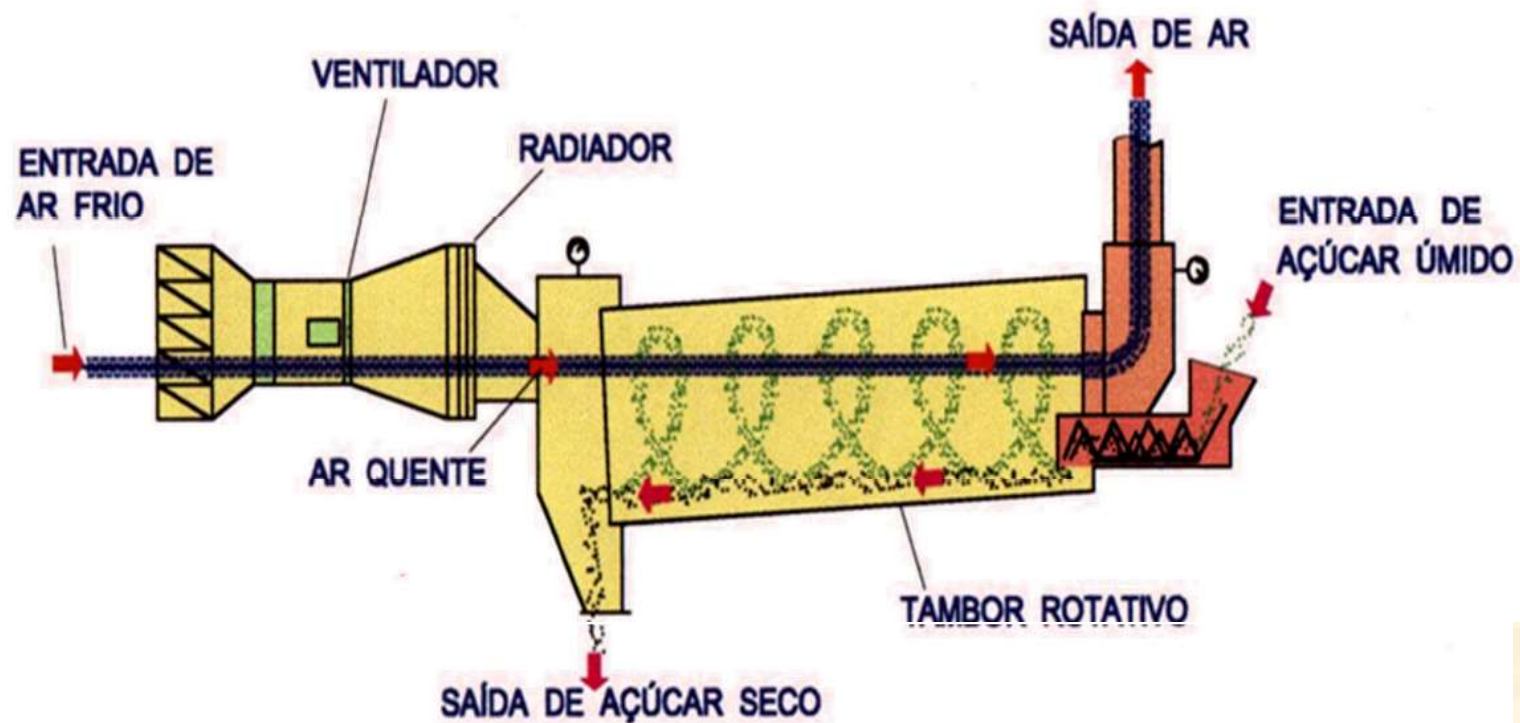
#### Açúcar branco

Umidade relativa = 0,5-2,0%

↓ Secador

Umidade relativa = 0,04-0,07%

## SECADOR HORIZONTAL DE AÇÚCAR





# Armazenamento do Açúcar



## ESTOCAGEM DO AÇÚCAR

Armazenamento {  
saco  
a granel

### CONDIÇÕES DE ARMAZENAGEM

- não permite desenvolvimento de microrganismo (deterioração microbiológica, modificação físico-químicas) → {  
bactérias  
fungos  
leveduras
- deterioração depende composição impurezas  
teor de umidade
- Umidade relativa de Equilíbrio (URE)
- Umidade ambiente - 65% equilíbrio (não perde e nem absorve umidade)



Armazém de açúcar





# Armazenamento do Açúcar



## CUIDADOS GERAIS NO ARMAZENAMENTO DO AÇÚCAR (A GRANEL/ ENSACADO):

---

- ❖ Vedação do piso, parede e teto;
- ❖ Cobertura (teto) com material com bom coeficiente isolante térmico e elevado índice de reflexão;
- ❖ Circulação de ar: portas fechadas. URe ~ 65% (Sacas: inclinação de 20°);
- ❖ As pilhas de açúcar devem ser feitas sobre estrados de madeira, papel betumado ou lona plástica;



# Armazenamento do Açúcar



## CUIDADOS GERAIS NO ARMAZENAMENTO DO AÇÚCAR (A GRANEL/ ENSACADO):

- ❖ As pilhas devem ser compactas e o mais próximas possíveis (diminuir a superfície de exposição em relação ao volume);
- ❖ Pilhas devem ser cobertas com material betumado ou lona plástica;
- ❖ A granel: ângulo de talude 33-36° quando seco, açúcar úmido até 53°.



# Armazenamento do Açúcar





# Armazenamento do Açúcar





# Armazenamento do Açúcar



## EMPEDRAMENTO DO AÇÚCAR

Depende umidade, temperatura de ensacamento e condições de tempo de armazenamento.

Temperatura do açúcar < 43°C  
Umidade Atmosférica ~ 65%

## AGLOMERAÇÃO E DISSOLUÇÃO DE CRISTAIS

Umidade Açúcar  
na superfície

em função

UR do ambiente

## PESAGEM DO AÇÚCAR

controle do açúcar seco em armazenamento  
(granel)

3 depósitos (balanças)

- ✓ **superior:** recebe o açúcar;
- ✓ **intermediário:** faz a pesagem;
- ✓ **inferior:** recebe o açúcar pesado e alimenta o sistema de transporte.

balanças automáticas ou comuns  
(até 200kg)



## ENSACAMENTO DO AÇÚCAR

Manejo e acondicionamento  
de açúcar

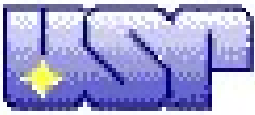
**Tendências:**

- A granel
- Containers ou big-bag (900 a 1200kg)
- Sacos (50kg)



# Armazenamento do Açúcar



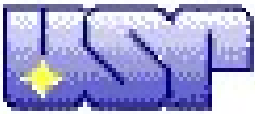


## 11 CONSIDERAÇÕES FINAIS



- ✓ 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;
- ✓ A operação de sulfitação é a principal diferença do processo de purificação do caldo para a produção de açúcar cristal branco quando comparado com o processo de purificação do caldo para produção de açúcar VHP.





## 11 CONSIDERAÇÕES FINAIS



- ✓ O processo de concentração do caldo para a produção de açúcar é realizado em duas etapas. A primeira é chamada de evaporação e é realizada em evaporadores de múltiplos-efeitos. A segunda etapa é denominada cozimento e é realizada em evaporador de simples efeito, também conhecido como cozedor ou vácuo;



# Considerações finais



As principais operações finais do processo de produção de açúcar são: cristalização, centrifugação, secagem e armazenamento;

Os principais tipos de açúcares produzidos no Brasil são açúcar cristal branco, açúcar VVHP, Açúcar VHP e açúcar refinado (amorfo ou cristalizado);

As principais diferenças na composição dos açúcares cristal branco, açúcar VVHP, Açúcar VHP e açúcar refinado (amorfo ou cristalizado) são a cor ICUMSA, o teor de sacarose e as quantidades de impurezas.



# Referências



- <http://www.apta.sp.gov.br/cana/workshops.php>. Acesso em 12/03/2010
- [http://www.techpetersen.com.br/video\\_limpeza\\_seco.php](http://www.techpetersen.com.br/video_limpeza_seco.php)
- 2 - RIBEIRO, C., BLUMER, S., HORII. **Fundamentos de tecnologia sucroalcooleira: tecnologia do açúcar.** Piracicaba: ESALQ/Depto de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, V.2, 1999. 66p.
- 3 - 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.
- 4 - DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. **Cana-de-açúcar.** Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. 882 p.