

LAN 1458 – AÇÚCAR E ÁLCOOL



Produção Sucroalcooleira



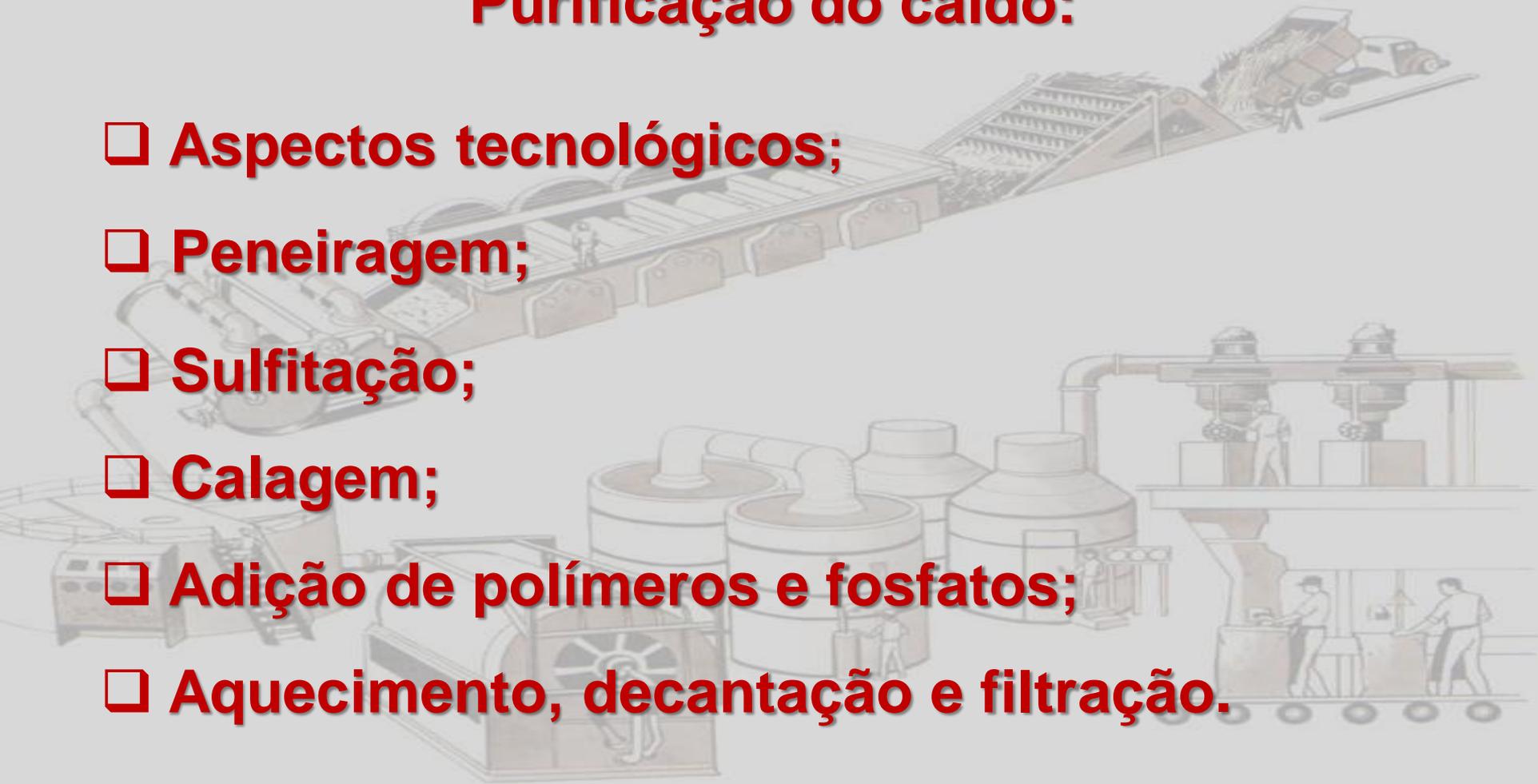
Tecnologia da fabricação do açúcar e do etanol

Prof. Dr. André Ricardo Alcarde
andre.alcarde@usp.br

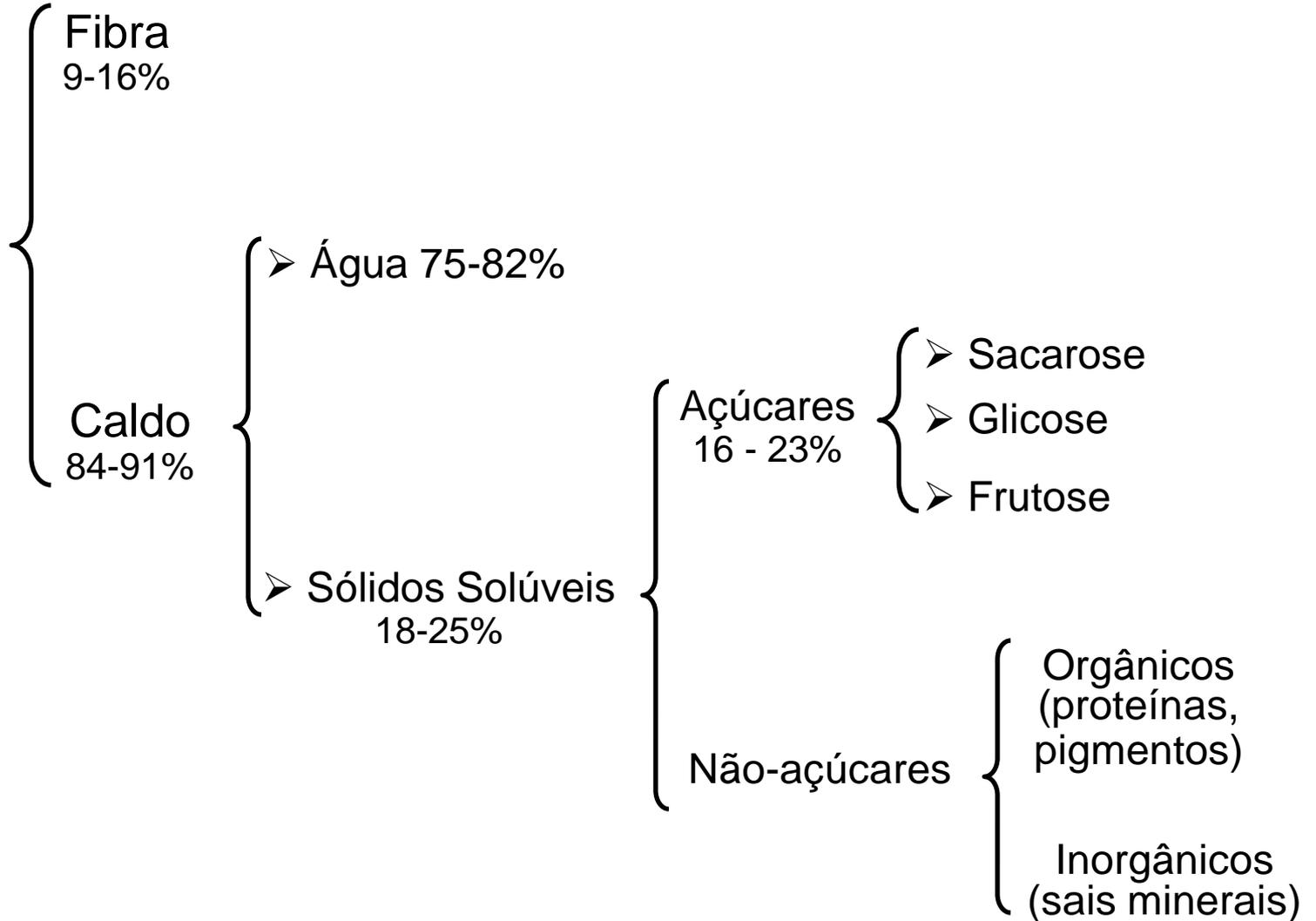
Produção Sucroalcooleira

Purificação do caldo:

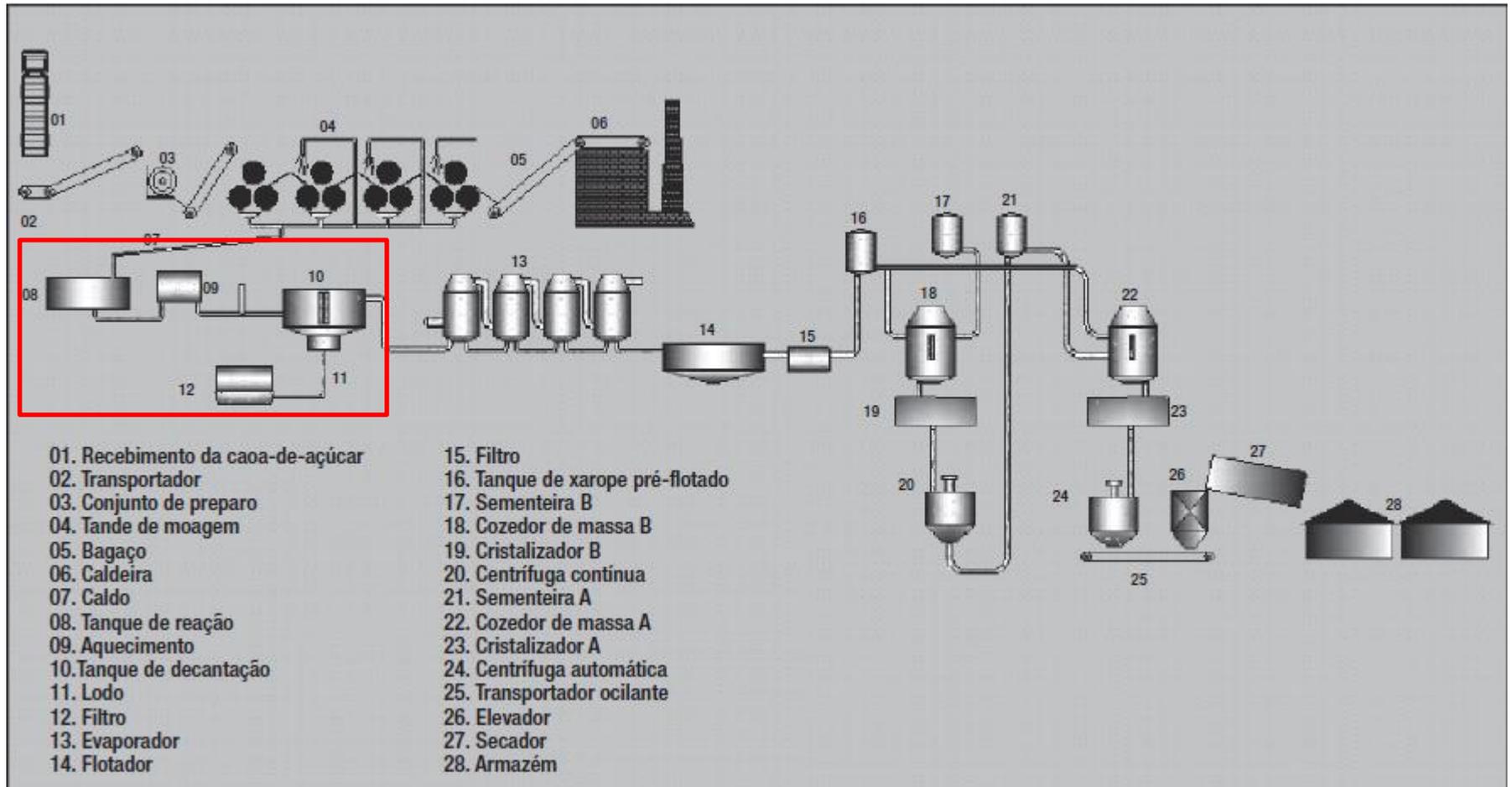
- ❑ Aspectos tecnológicos;
- ❑ Peneiragem;
- ❑ Sulfitação;
- ❑ Calagem;
- ❑ Adição de polímeros e fosfatos;
- ❑ Aquecimento, decantação e filtração.



Componentes químicos do caldo de cana:



Esquema das várias etapas da produção do açúcar VHP (exportação)



Processos de
purificação
(princípios)



- a) mecânicos: peneiragem/filtração.
- b) químicos: mudança de reação do meio – sulfitação e caleagem.
- c) físicos: efeito da temperatura e sedimentação.

Reagentes



- Cal.
- Gás Sulfuroso.
- Ácido Fosfórico.

Auxiliares de
Clarificação

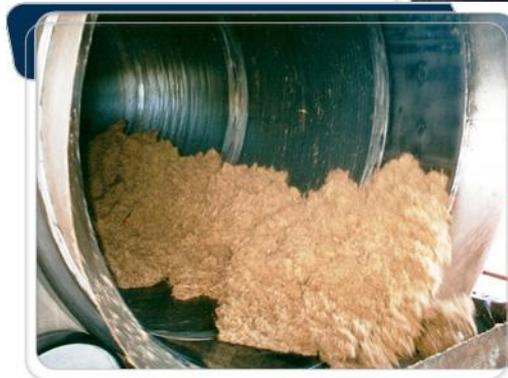
- Fosfato.
- Bentonita.
- Polieletrólitos.
- Magnésio.

Procedimento depende do produto final – açúcar ou álcool

Tratamento mecânico do caldo

Peneiras rotativas de caldos mistos

- ❑ Constituída de cestos, onde as peneiras rotativas são de forma cilíndrica, tronco cônico ou piramidal.
- ❑ Utilizada para filtrar o caldo misto proveniente da moenda, podendo separar o caldo primário do secundário.
- ❑ Alimentação interna;
- ❑ Rotação (8 -12 rpm);



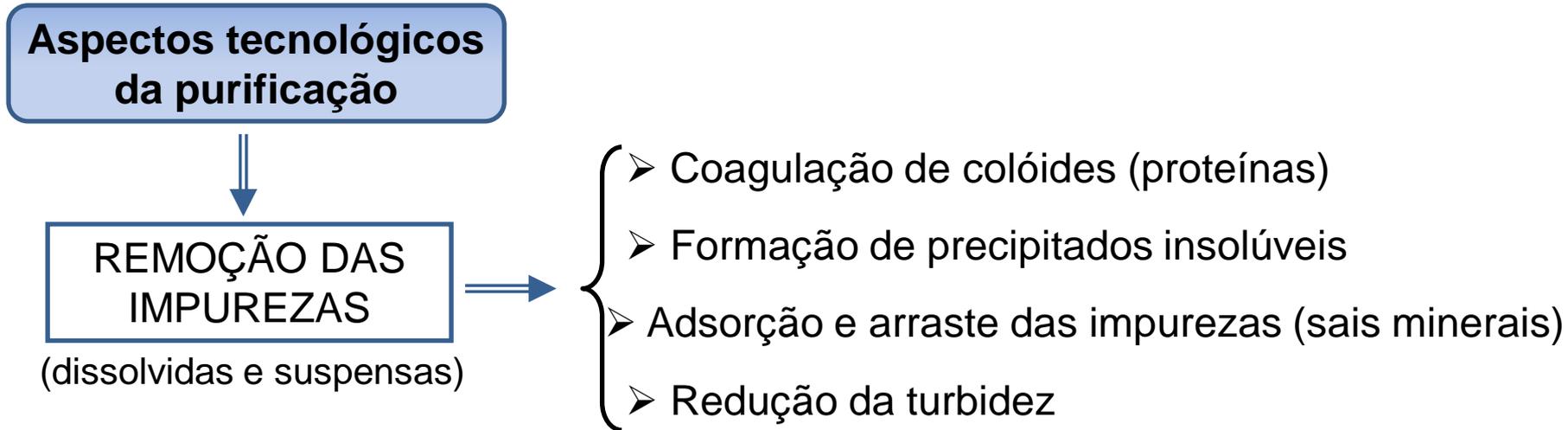
Tratamento químico do caldo

- ❑ Após o tratamento primário, o caldo de cana contém, ainda, impurezas menores, que podem ser solúveis, coloidais ou insolúveis.
- ❑ O tratamento químico visa principalmente à coagulação, à floculação e à precipitação destas impurezas, que são eliminadas por sedimentação.
- ❑ É necessário, ainda, fazer a correção do pH para evitar inversão.

Compreende {

- Sulfitação.
- Calagem.
- Dosagem de polímeros.
- Dosagem de fosfatos.

Aspectos tecnológicos



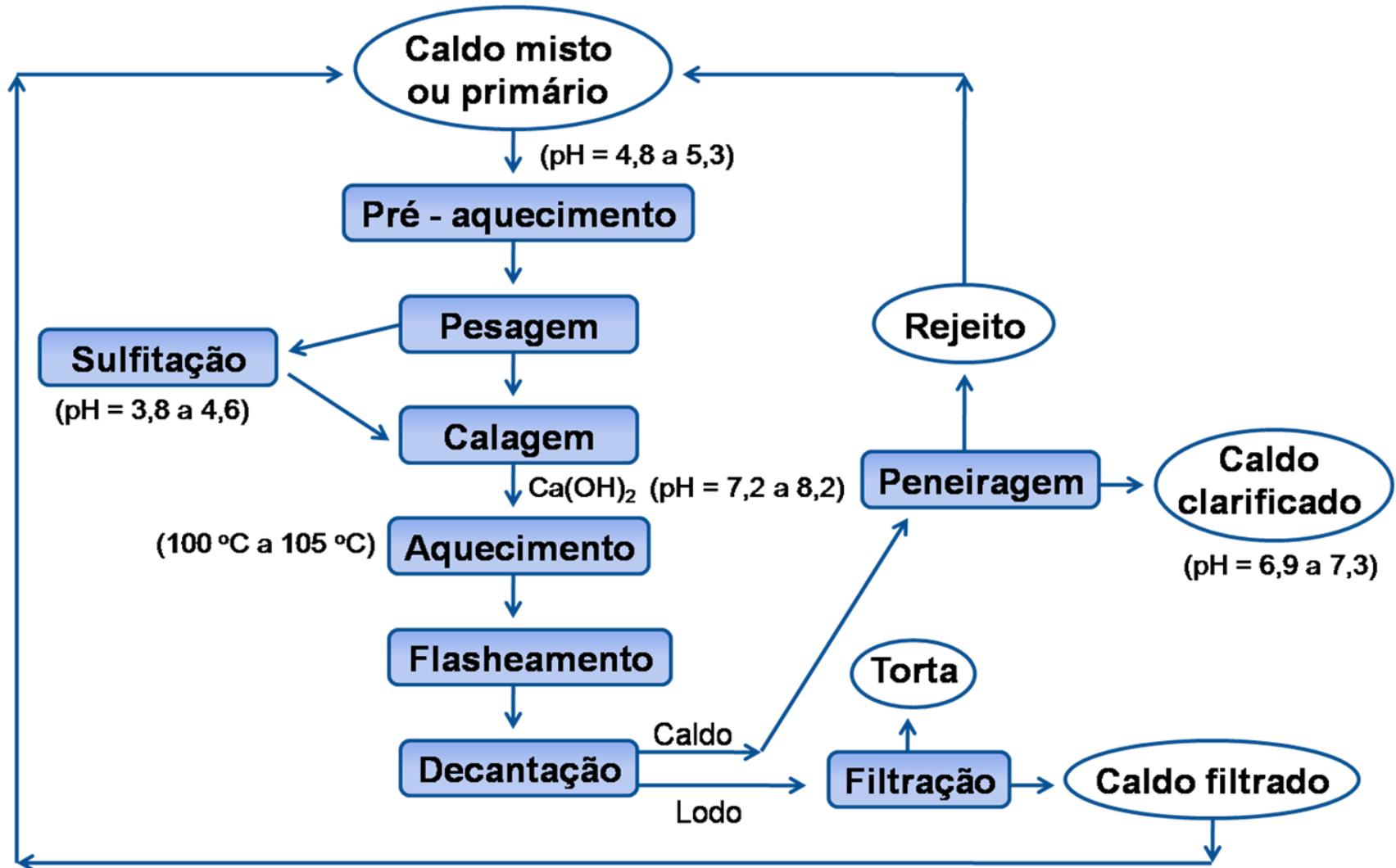
COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO:

Coagulação → agregar as partículas, atingindo o ponto isoelétrico.

Floculação → produzir flocos e aglomerar coágulos formando flocos maiores e mais pesados.

SISTEMA FLOCULADO IDEAL → Grandes e pequenas partículas entrelaçadas formando uma nova unidade maior → maior velocidade de sedimentação.

Fluxograma do tratamento de caldo



Esquema do tratamento de caldo

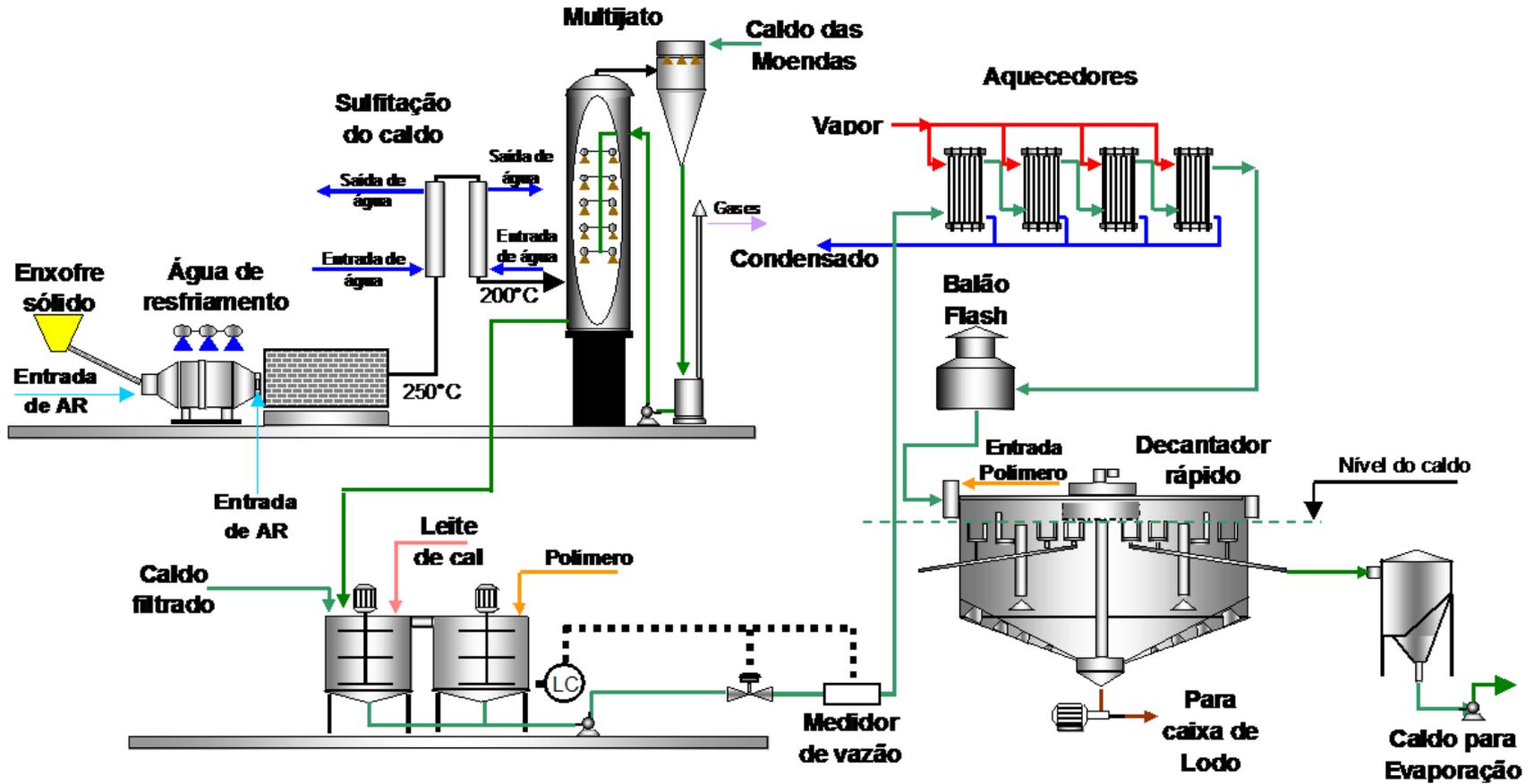


Figura – Esquema do tratamento de caldo para fabricação de açúcar branco.

Tratamento químico do caldo

Sulfitação.

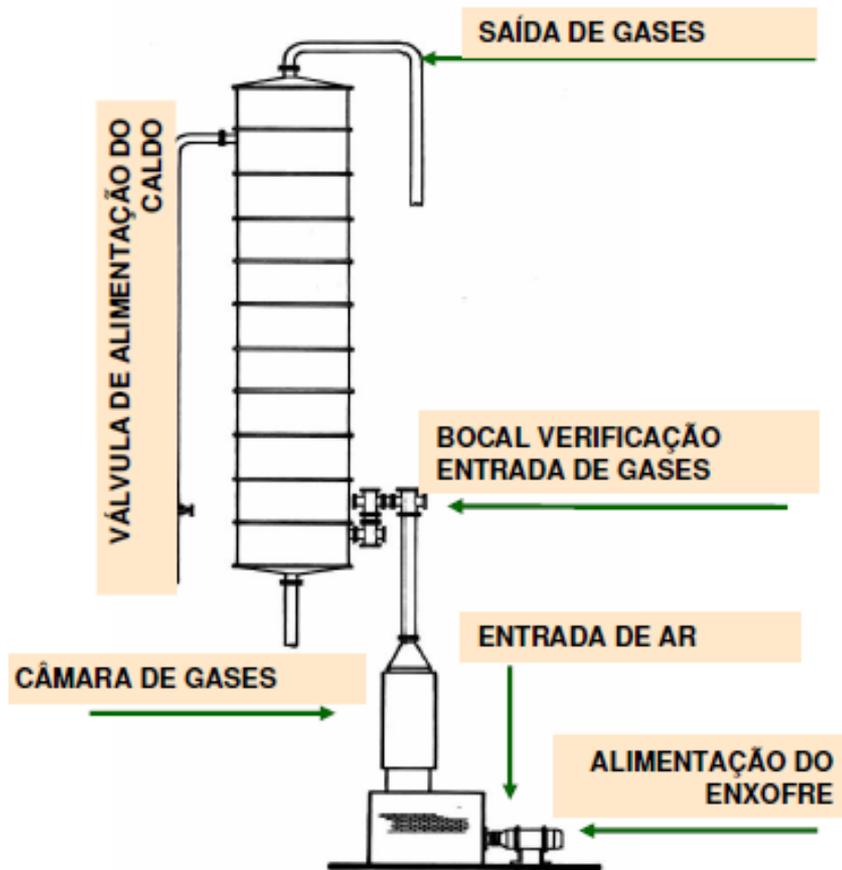


Figura - Sistema de sulfitação.

➤ Principais objetivos:

- ✓ Inibir reações que causam formação de cor;
- ✓ Proporcionar a coagulação de colóides solúveis;
- ✓ Redução do pH (3,8 a 4,2) para favorecer a redução dos sais férricos (coloridos) em ferrosos (incolores).
- ✓ Proporcionar a formação do precipitado CaSO_3 (sulfito de cálcio);
- ✓ Diminuir a viscosidade do caldo, do xarope, massas cozidas e méis;

Calagem ou Caleagem

□ A calagem é realizada para auxiliar na purificação do caldo. É feita uma adição de leite de cal ao caldo, e tem como funções:

- Neutralização da acidez do caldo;
- Corrigir o pH até o valor desejado: 6,9-7,2 (açúcar branco); 7,5-8,0 (açúcar bruto);
- Formação de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ e de CaSO_3 , quando o caldo é sulfitado;
- Floculação e arraste de partículas em suspensão.

Tratamento físico: Aquecimento

❑ O aquecimento é feito em trocadores de calor tubulares ou de placas.

Tem como funções:

- Acelerar as reações químicas.
- Facilitar as reações do caldo.
- Promover a coagulação das proteínas.
- Diminuir a densidade e viscosidade.
- Provocar a floculação.
- Elimina e impede o desenvolvimento de bactérias.

Decantação

□ Os decantadores separam as impurezas do caldo. Para auxiliar na decantação são adicionados polímeros para promover:

- A aglomeração dos flocos;
- O aumento da velocidade de sedimentação;
- A compactação e redução do volume de lodo;

Decantação

Lei de Stokes: velocidade de decantação (V_d)

$$V_d = \frac{D_p^2 \cdot (d_p - d_c) \cdot g}{18\mu_c}$$

D_p = diâmetro da partícula

D_p = densidade da partícula

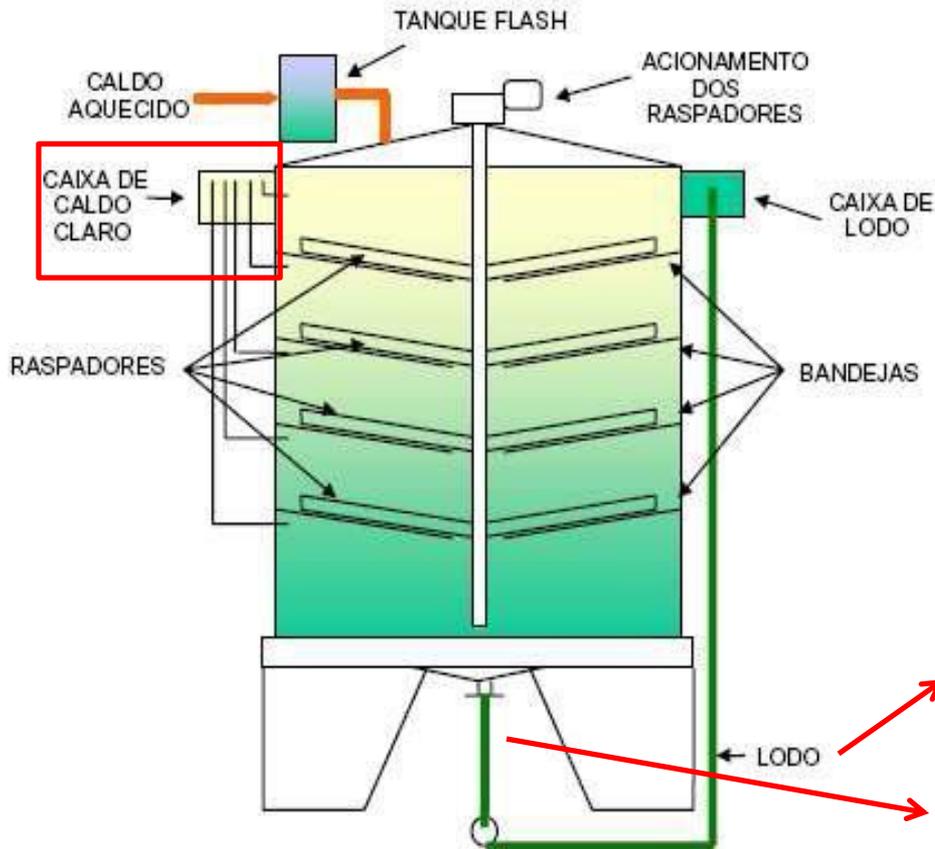
D_c = densidade do caldo

g = aceleração da gravidade

μ_c = viscosidade do caldo

Decantação

Decantador



O caldo decantado é retirado da parte superior de cada bandeja e enviado ao setor de evaporação para concentração.

❖ As impurezas sedimentadas constituem o lodo.

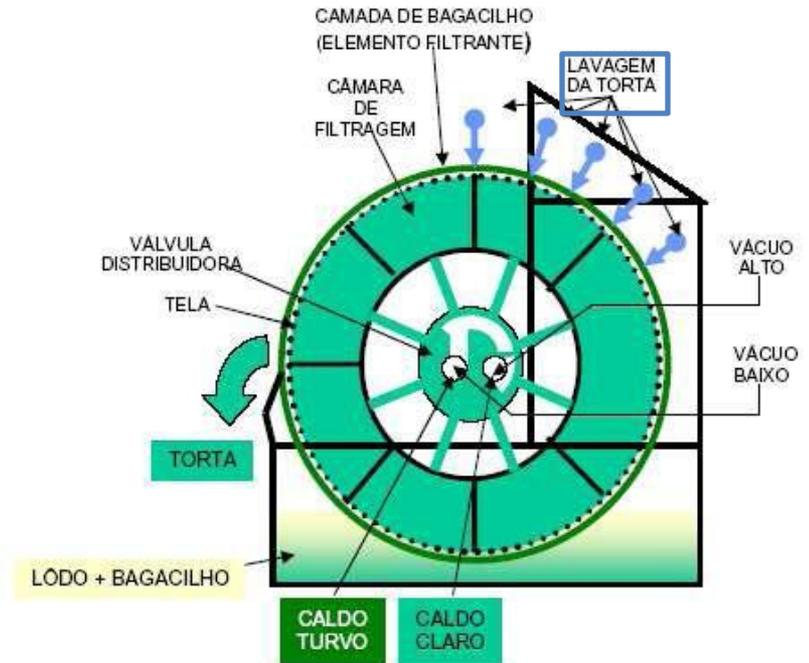
❖ O lodo normalmente é retirado do decantador pelo fundo e enviado ao setor de filtração para recuperação do açúcar nele contido.

Filtração

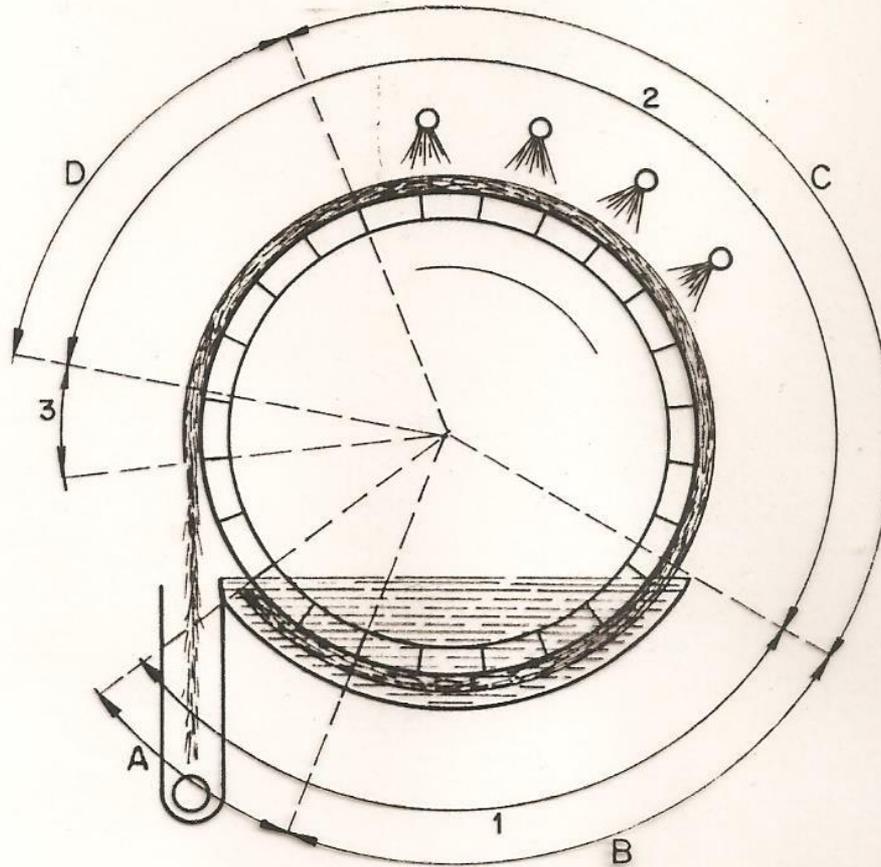
- ❑ Esta filtração objetiva recuperar o açúcar (aproximadamente 10° Brix) contido no lodo, fazendo com que este retorne ao processo na forma de caldo filtrado.
- ❑ O material retido no filtro recebe o nome de torta e é enviado à lavoura para ser utilizado como adubo.
- ❑ Filtros rotativos a vácuo

Filtração do lodo

- ❑ Inicia-se o ciclo de lavagem no baixo vácuo para formação e espessamento da camada filtrante (lodo + bagacinho).
- ❑ No alto vácuo recupera-se o caldo claro, com lavagem da torta formada.
- ❑ Após a lavagem, o alto vácuo propicia a secagem da torta.
- ❑ Ao final, sem ação de vácuo, um raspador realiza o despreendimento da torta de filtro.



Filtração do lodo



Legenda

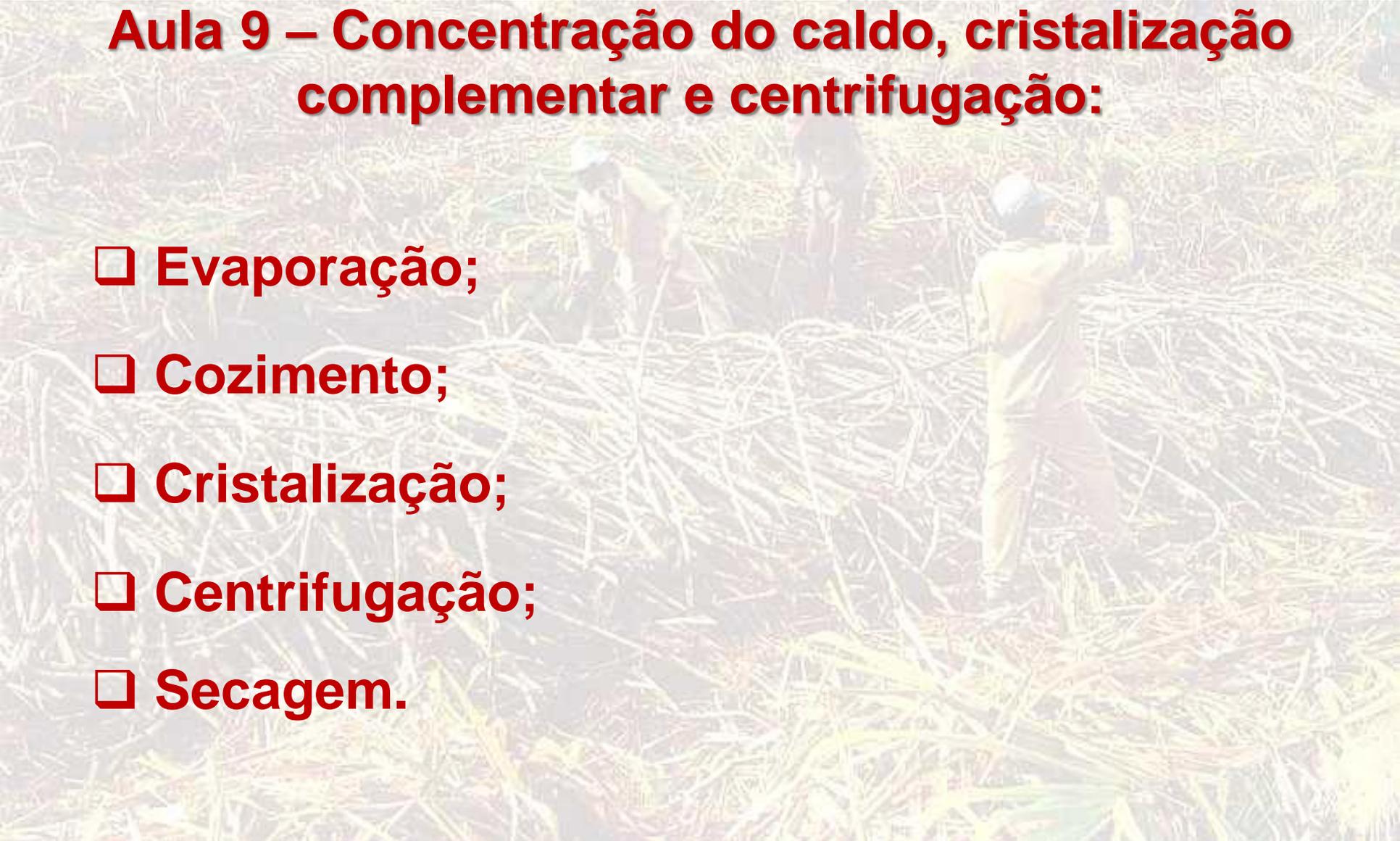
- A - Formação da torta
- B - Espessamento da torta
- C - Lavagem da torta
- D - Secagem da torta

- 1 - Baixo vácuo
- 2 - Alto vácuo
- 3 - Sem vácuo

Produção Sucroalcooleira



Aula 9 – Concentração do caldo, cristalização complementar e centrifugação:

- Evaporação;**
 - Cozimento;**
 - Cristalização;**
 - Centrifugação;**
 - Secagem.**
- 

Esquema das várias etapas da produção do açúcar na usina

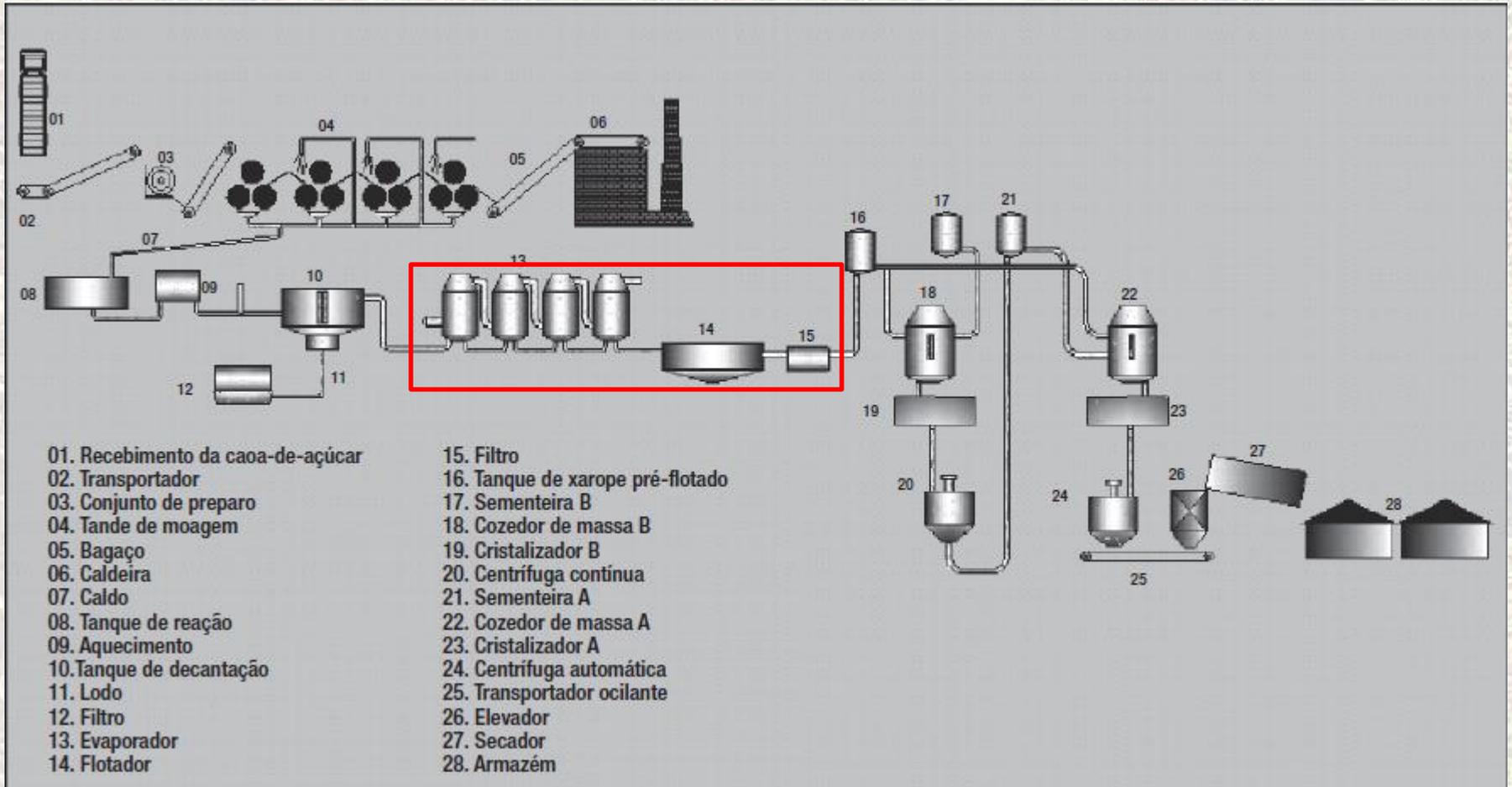


Figura – Processo produtivo do açúcar. Fonte: Adaptado de Geocities (2008).

Concentração do caldo

- ❑ O objetivo da evaporação é concentrar o caldo clarificado, produzindo o xarope com uma 60 – 70° Brix.
- ❑ A concentração do caldo, por motivos técnicos e econômicos é realizada em duas etapas. A primeira em evaporadores de múltiplos efeitos aquecidos a vapor, produzindo “xarope”.
- ❑ A segunda etapa realiza-se em evaporadores de simples efeito, aquecidos a vapor, denominados cozedores. Nestes o caldo entra na forma de “xarope” e sai na forma de massa cozida, na qual a sacarose apresenta-se parcialmente cristalizada.



Fluxograma da primeira etapa da concentração do caldo.

Evaporação

❑ O vapor de escape das turbinas entra no primeiro efeito, condensa, transfere calor para o caldo que se encontra dentro dos tubos, produzindo assim a evaporação da água (caldo) dentro dos tubos (vapor vegetal).

❑ O 2º e demais evaporadores são aquecidos pelo vapor vegetal (vapor produzido pela evaporação de água do caldo) do efeito anterior.

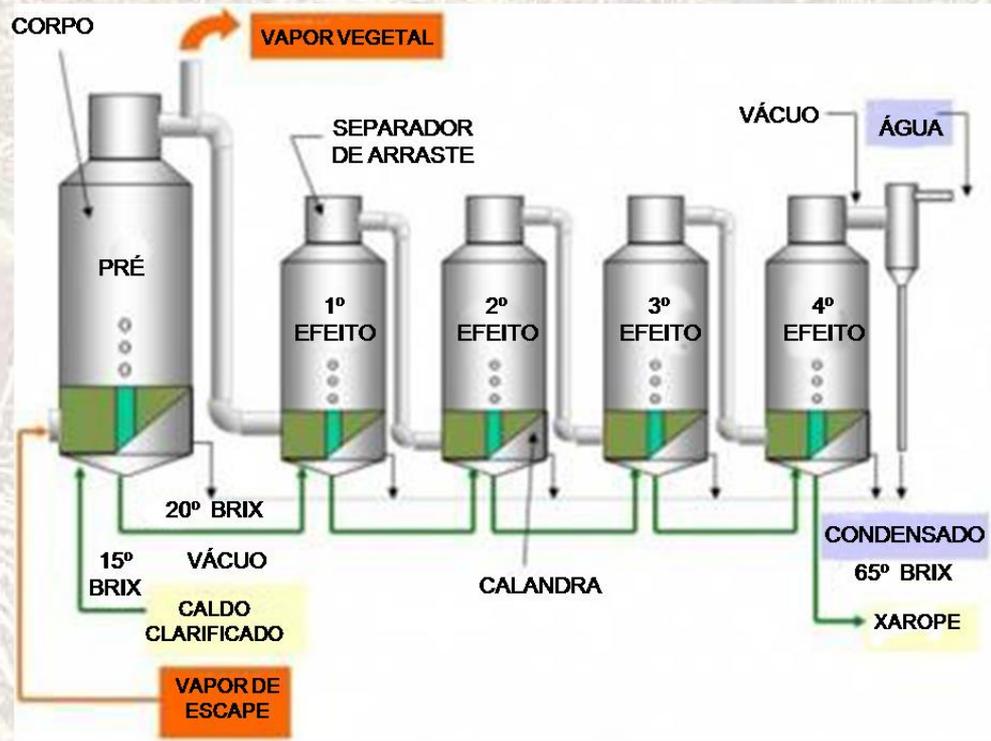


Figura - Sistema de evaporadores de múltiplo efeitos.

❑ O vapor vegetal é utilizado no evaporador (efeito) seguinte. O evaporador múltiplo efeito é econômico ao usar vapor vegetal.

Evaporação

Calandra:

❑ Situa-se no fundo do evaporador e é constituída de duas placas perfuradas, uma superior e uma inferior denominadas espelhos, os quais são interligados pelos tubos.

❑ Existe na calandra um tubo central de diâmetro maior que os tubos periféricos. Desta maneira, durante a evaporação existem duas correntes de circulação de caldo, uma ascendente nos tubos periféricos e da periferia para o centro e uma segunda descendente pelo tubo central.

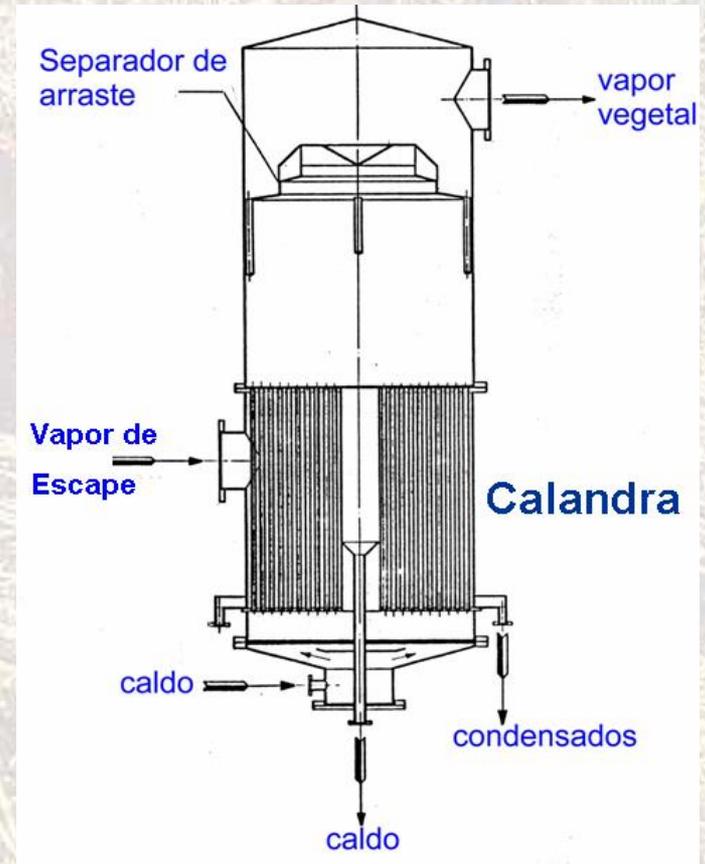


Figura – evaporador tipo Roberts .

Evaporação

- ❑ A seção de evaporação realiza a primeira etapa no processo de recuperação do açúcar do caldo.
- ❑ O vapor que iria ser necessário para operar os evaporadores em simples efeito iria exceder o vapor gerado pela queima do bagaço. Assim usa-se evaporação em múltiplo efeito.

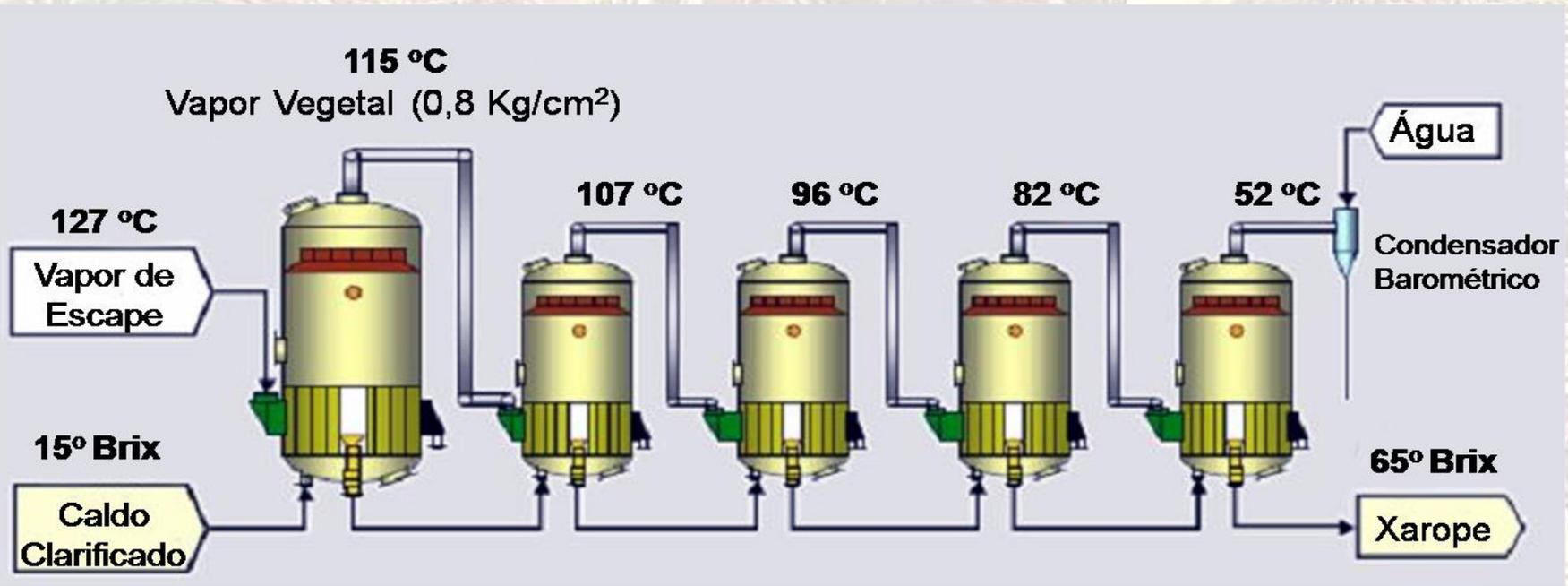


Figura - Sistema de evaporadores do Tipo Robert.

Evaporação de múltiplo efeito

- ❑ A necessidade de economia de vapor obriga o uso do princípio de múltiplo efeito.
- ❑ Na evaporação em múltiplo efeito, o vapor da ebulição do caldo de um corpo é usado como fonte de calor para o corpo seguinte.
- ❑ Isto pode ser realizado pela redução da pressão no segundo corpo, de modo a reduzir o ponto de ebulição.
- ❑ Em um múltiplo efeito, 1 kg de vapor de escape alimentado no primeiro efeito irá evaporar a mesma quantidade de água, ou seja, 1 kg de vapor de escape produz 1 kg de vapor vegetal por efeito.

Esquema das várias etapas da produção do açúcar na usina

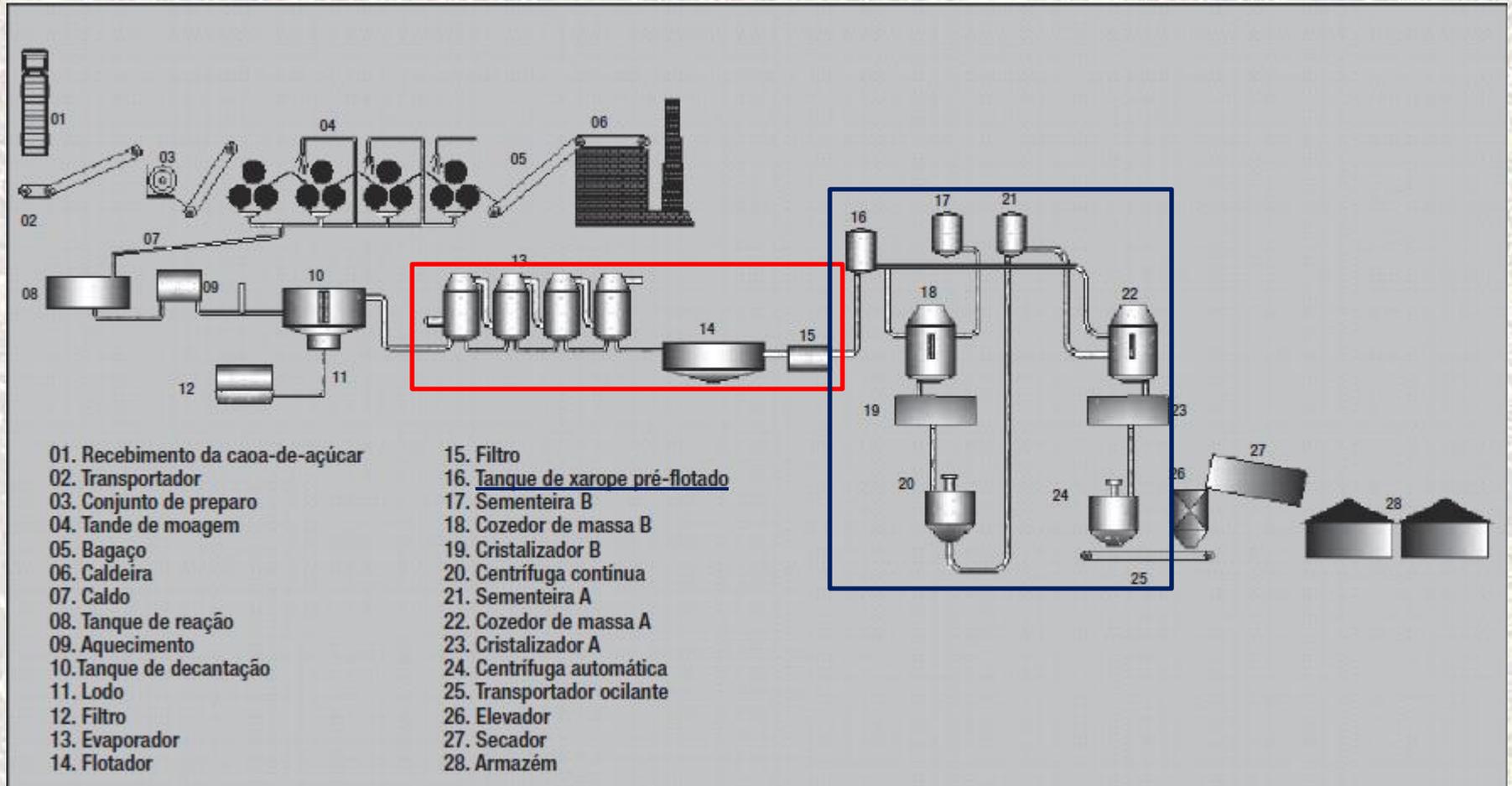


Figura – Processo produtivo do açúcar. Fonte: Adaptado de Geocities (2008).

Cozimento do xarope



Formação dos cristais de sacarose (nucleação, pé de cozimento, granagem)

Crescimento dos cristais (deposição de sacarose nos Núcleos)

Massa Cozida (semi-sólida)



Fluxograma da segunda etapa da concentração do caldo e produção do açúcar.

Cozimento

- ❑ O cozimento propriamente dito é feito sob vácuo, por evaporação, a baixa temperatura (65-70 °C), para que não ocorra prejuízo da qualidade do açúcar ou até degradação térmica da sacarose.
- ❑ No cozimento, estaremos evaporando a água e, portanto, supersaturando a solução, fazendo com que o açúcar se deposite nas sementes ou nos cristais já existentes, fazendo-os crescer.
- ❑ Coeficiente de super-saturação.

Zona Metaestável

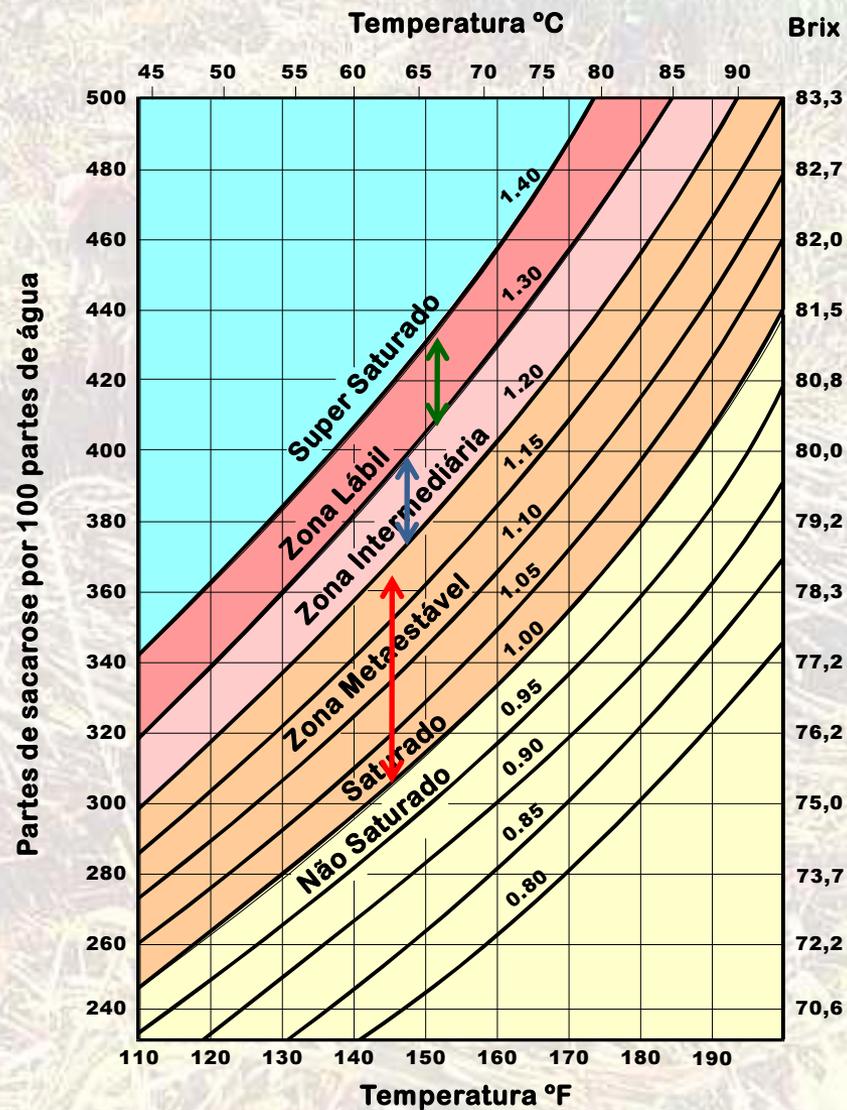
- ❑ É a região mais perto à curva de saturação, onde os cristais existentes na massa crescem sem que haja formação de novos cristais.
- ❑ Se encontra entre as curvas de saturação 1.0 e 1.2
- ❑ É a região da curva onde se efetua a “semeadura” e o corredor em que deve ser mantido o cozimento

Zona Intermediária

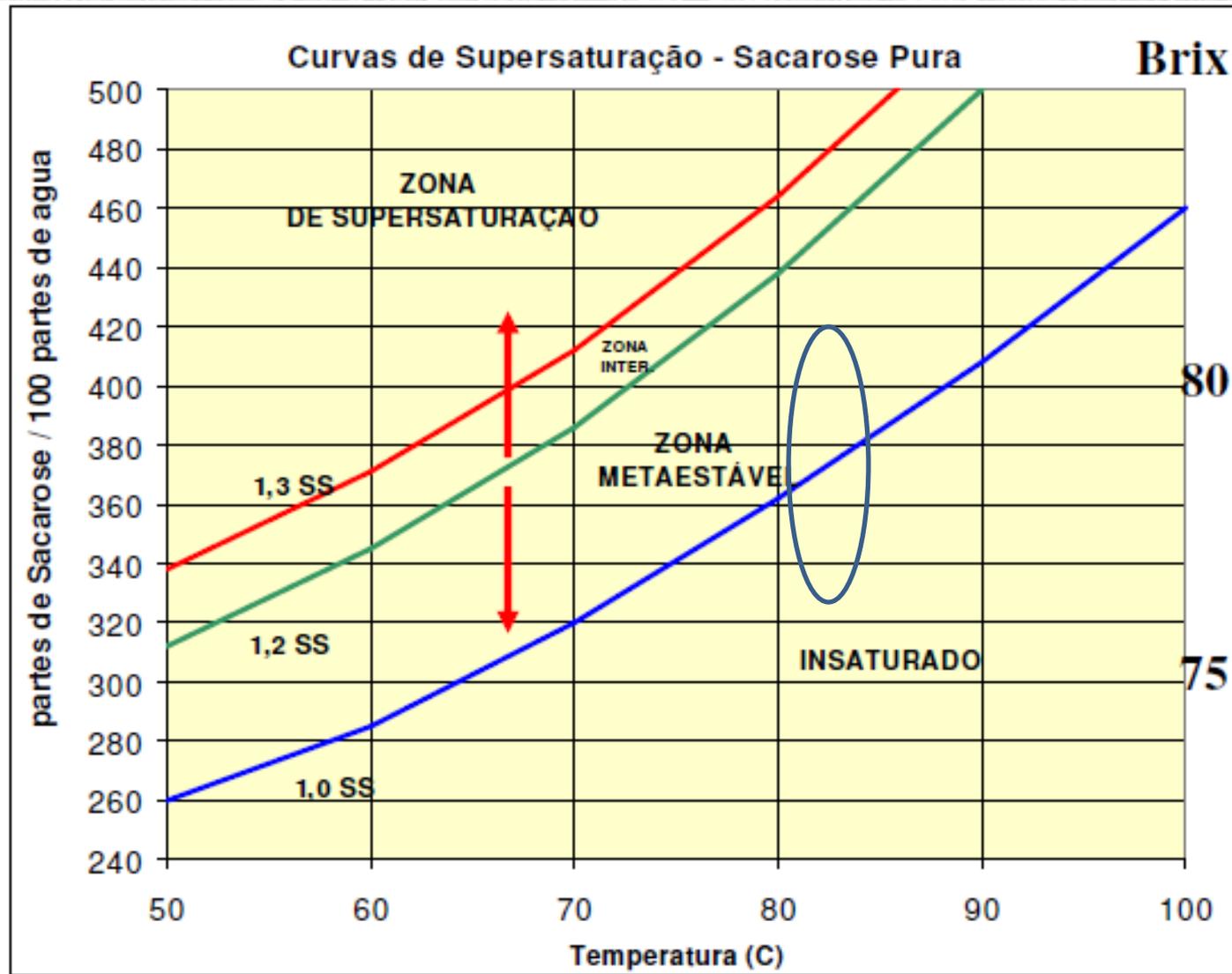
- ❑ Nesta zona haverá formação de cristais somente em presença de outros cristais existentes.

Zona Lábil

- ❑ Nesta zona haverá formação de novos cristais independentemente da presença ou não de cristais existentes.



Cozimento



Cozimento

❑ O objetivo do cozimento é obter uma massa com o máximo teor de cristais e um mel o mais pobre possível. Concentra-se a massa até se atingir o Brix desejado (92° Brix) para final do cozimento.

❑ Métodos de nucleação (cristalização):

Espera

Semeadura

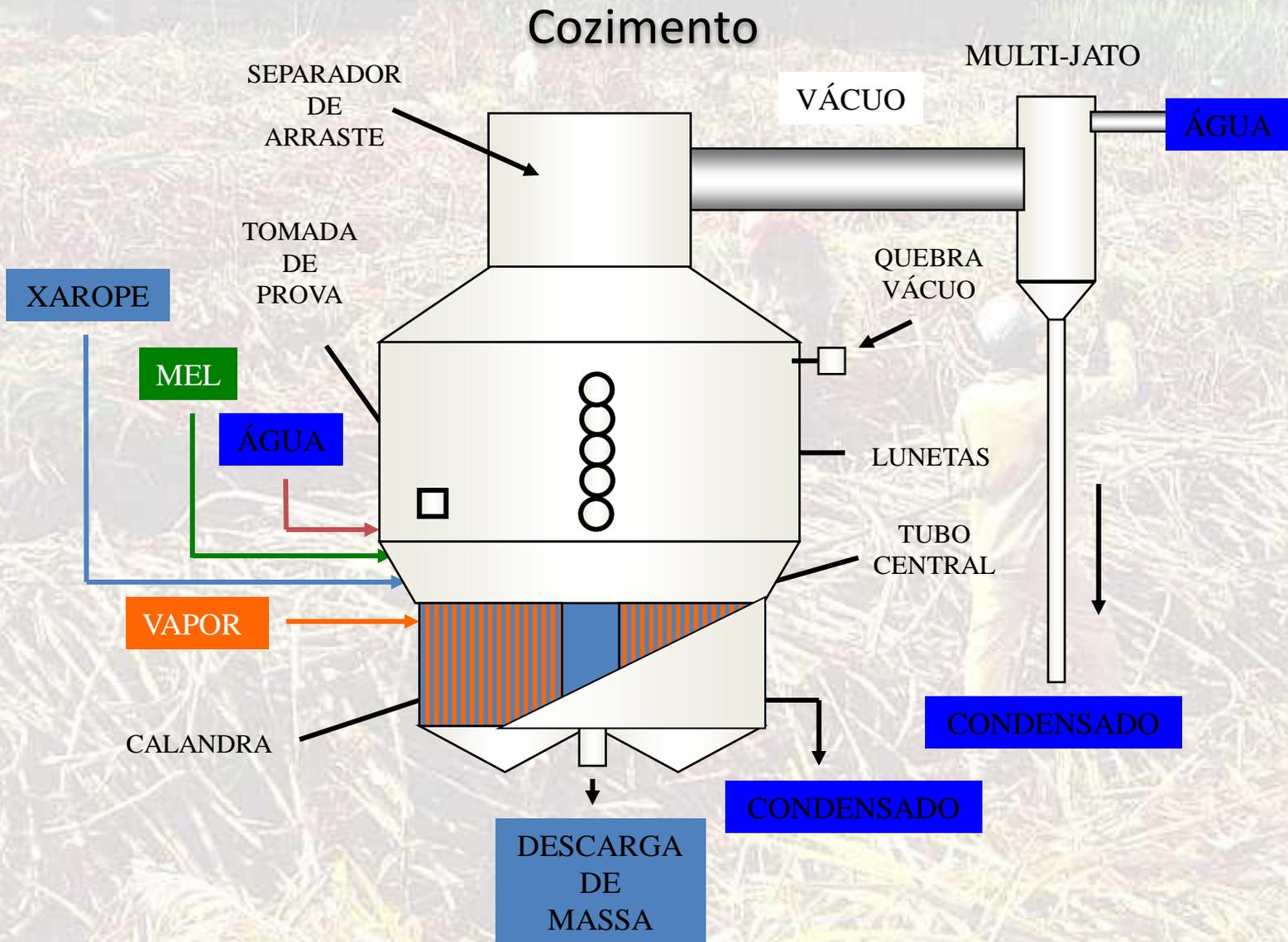


Figura – Descrição de um cozedor intermitente clássico.

Cozimento



Cristalização complementar

Processo de Cristalização:

É o processo de deposição de sacarose sobre os cristais formados.



Figura – Cristalizadores.

Centrifugação

❑ Dos cristalizadores, a massa cozida resfriada segue para o setor de centrifugação.

❑ Estas são constituídas por um cesto perfurado, fixado a um eixo e acionado por um motor que o gira a alta velocidade.

❑ A ação da força centrífuga (1200 - 1500 rpm) faz com que o mel atravesse as perfurações da tela do cesto, ficando retidos, em seu interior, somente os cristais de sacarose.

❑ O processo se completa pela lavagem do açúcar com água e vapor, ainda no interior do cesto.

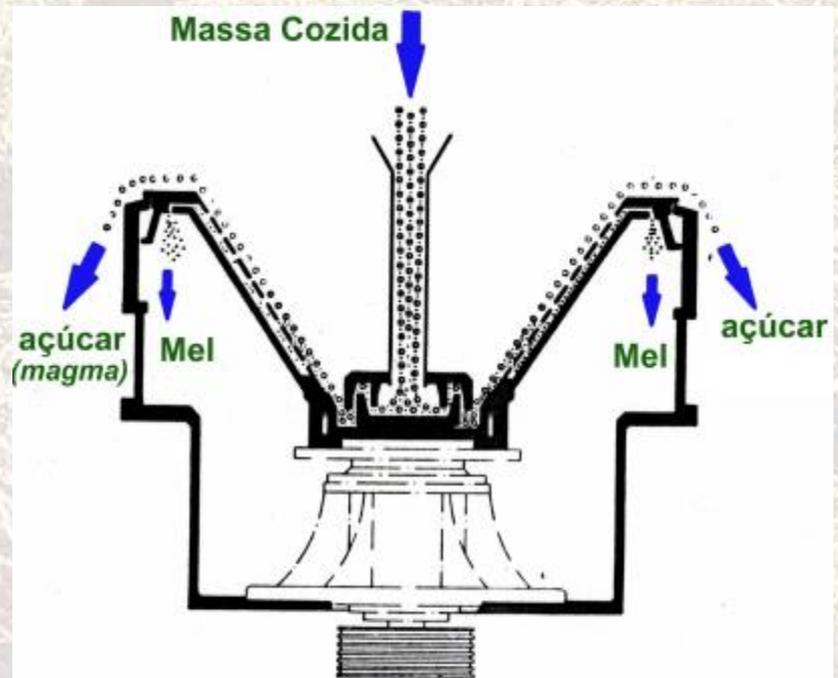


Figura – Esquema de centrífugas contínuas.

Centrifugação

❑ O mel removido é coletado em um tanque e retorna aos cozedores para recuperação do açúcar dissolvido ainda presente, até que se atinja um maior esgotamento do mesmo. A partir deste ponto, o mel passa a ser denominado mel final ou melaço e é enviado para a fabricação de álcool.



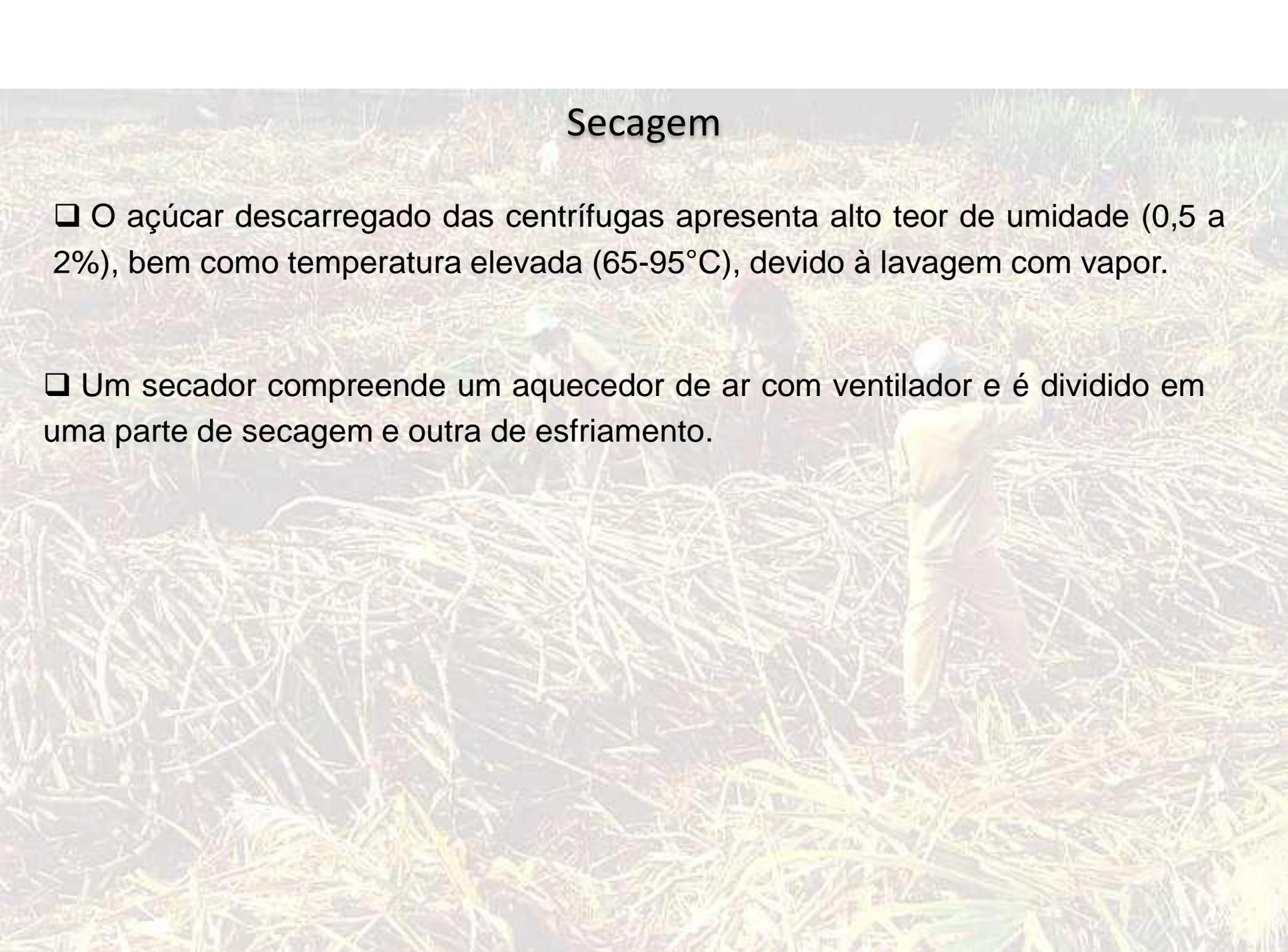
Figura – centrífugas descontinuas ou intermitentes.



Figura – centrífugas continuas.

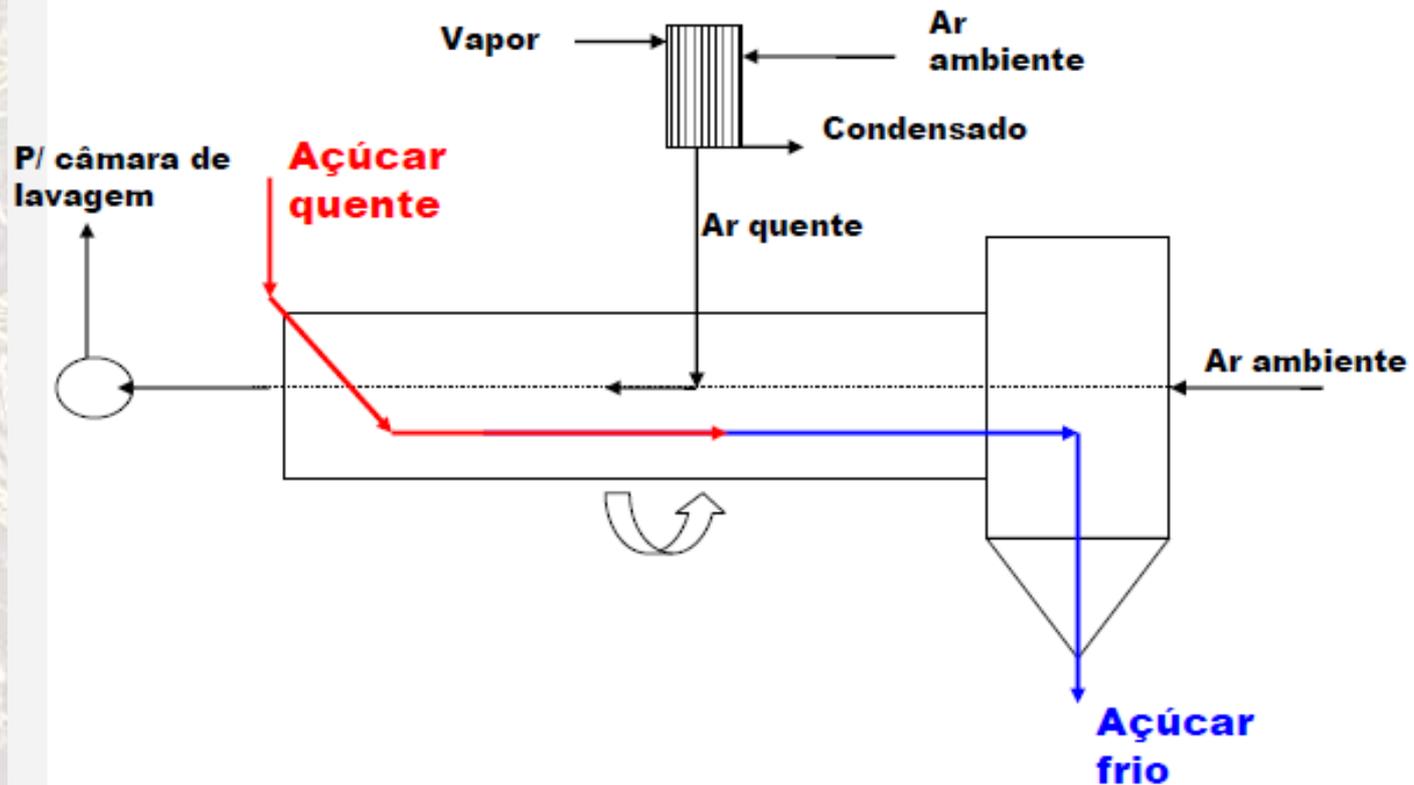
Secagem

- ❑ O açúcar descarregado das centrífugas apresenta alto teor de umidade (0,5 a 2%), bem como temperatura elevada (65-95°C), devido à lavagem com vapor.
- ❑ Um secador compreende um aquecedor de ar com ventilador e é dividido em uma parte de secagem e outra de esfriamento.



Secagem

Secador Rotativo Convencional



Umidade na secagem

- ❑ O açúcar é enviado para o secador, e é seco até atingir umidade final de 0,04% e temperatura ambiente.

