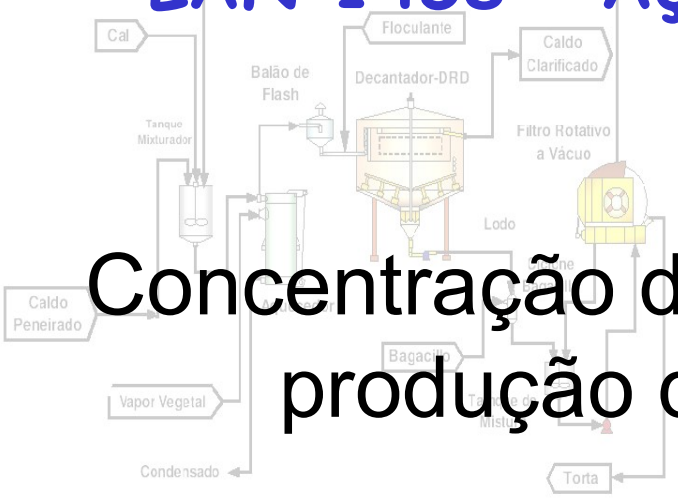
Universidade de São Paulo – USP

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

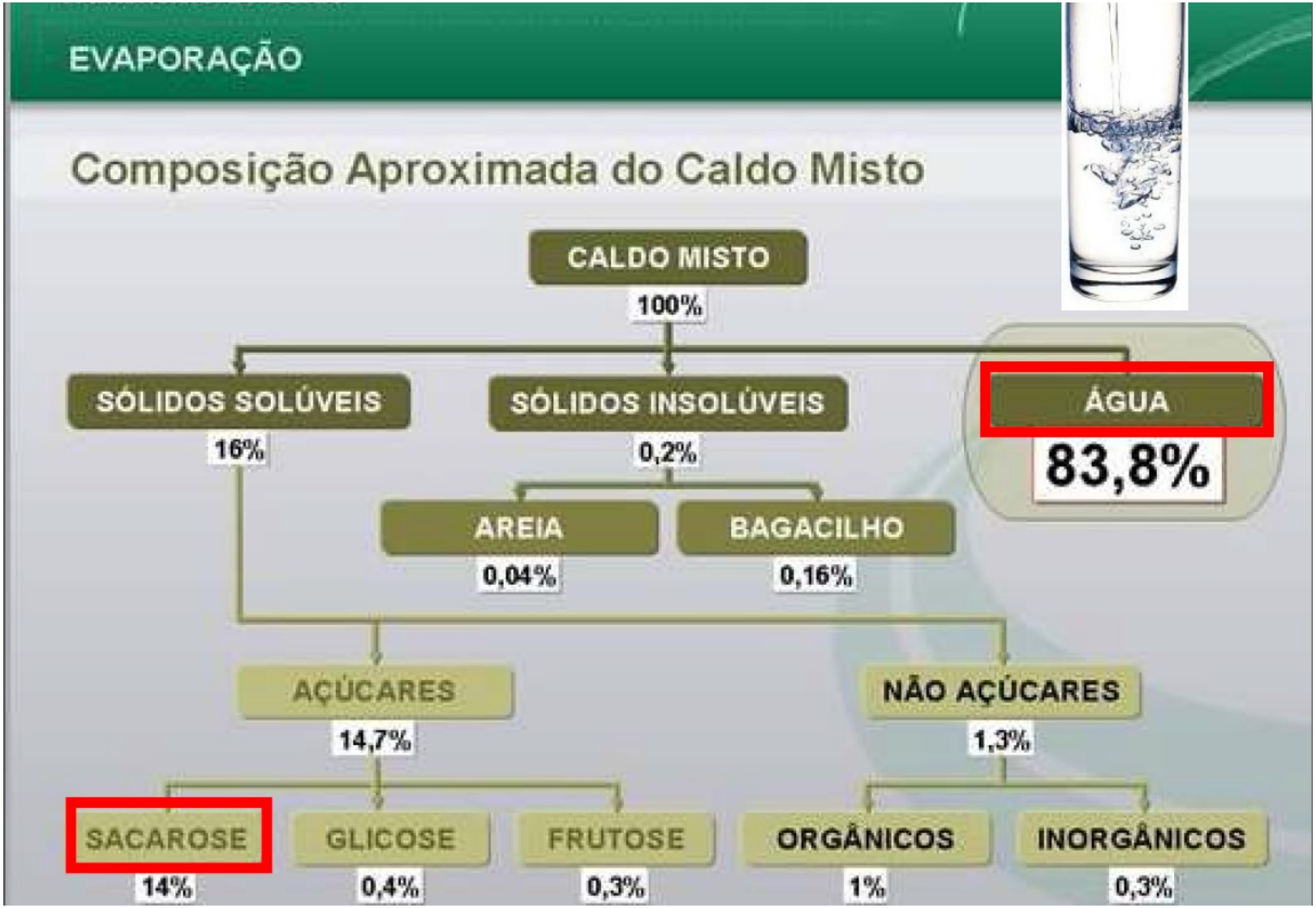
LAN 1458 – Açúcar e Álcool



Concentração do caldo para a produção de açucar

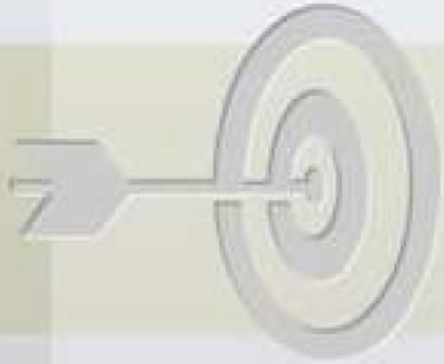
Prof. Antonio Sampaio Baptista

Introdução


EVAPORAÇÃO
Composição Aproximada do Caldo Misto
CALDO MISTO
100%
SÓLIDOS SOLÚVEIS
16%
SÓLIDOS INSOLÚVEIS
0,2%
ÁGUA
83,8%
AREIA
0,04%
BAGACILHO
0,16%
AÇÚCARES
14,7%
NÃO AÇÚCARES
1,3%
SACAROSE
14%
GLICOSE
0,4%
FRUTOSE
0,3%
ORGÂNICOS
1%
INORGÂNICOS
0,3%

Introdução

EVAPORAÇÃO



Objetivo

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

Duas etapas:

Evaporação

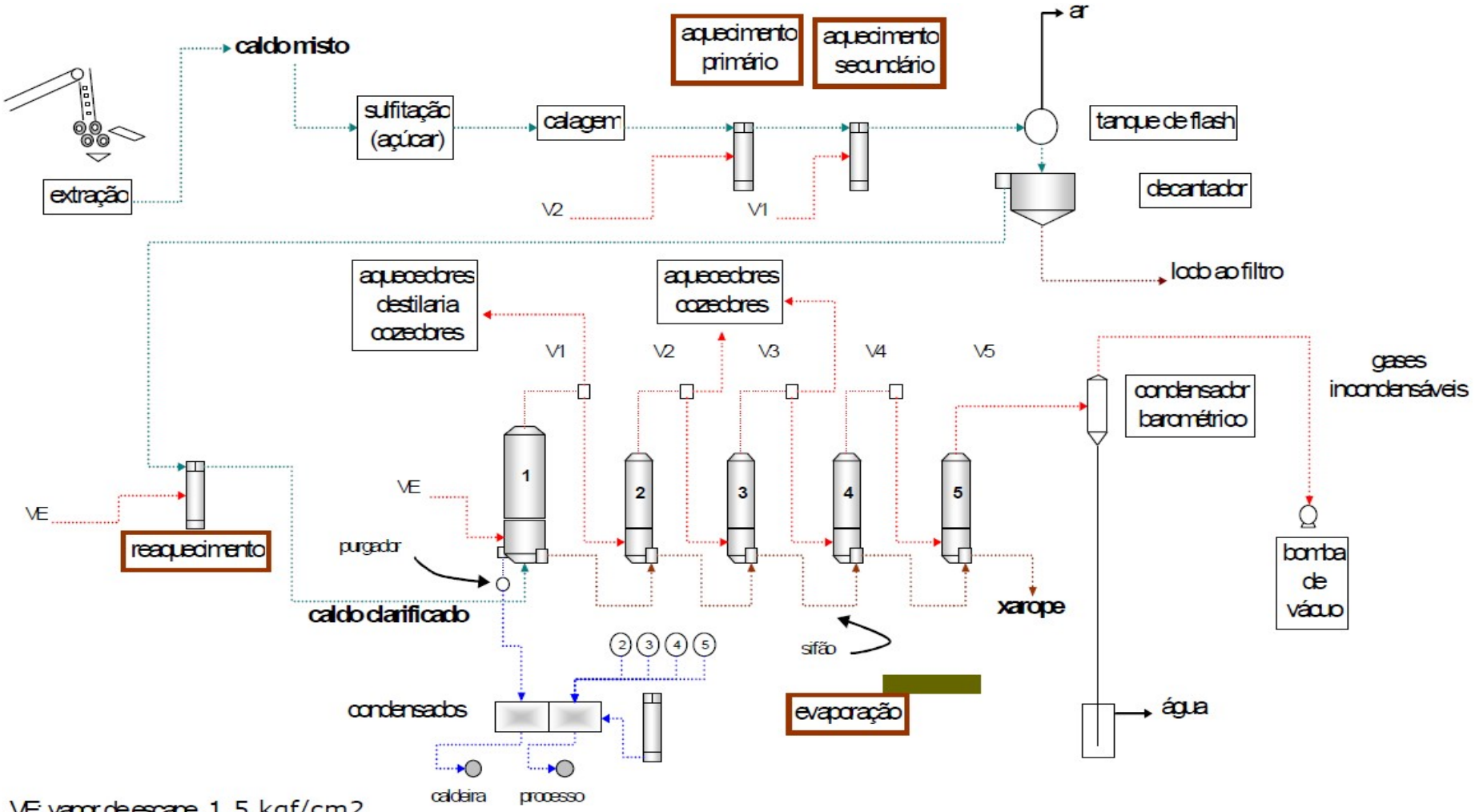
Propriamente dita

15º a 55-70º brix

Cozimento

55 a 70º a
92 a 95º brix

Introdução



VE: vapor de escape 1,5 kgf/cm2

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

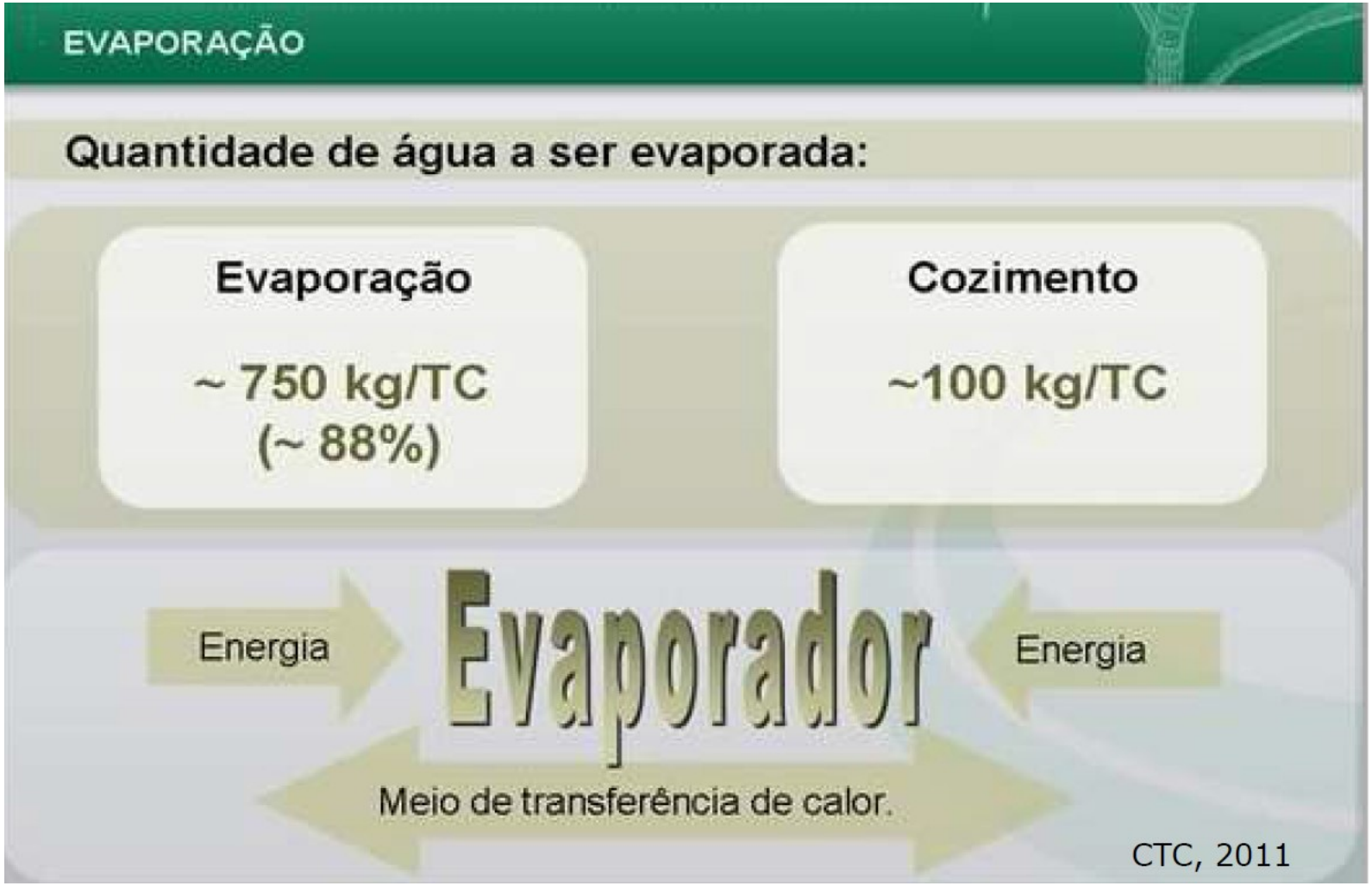
cozimento → em batelada ou intermitente
contínuo

temperatura caldo decantado → mais próxima da temperatura da caixa

Justificativas:

a) maior consumo de vapor;
b) difícil manuseio da massa cozida;
c) necessidade de maior número de equipamentos;
d) necessidade de maior número de operações.

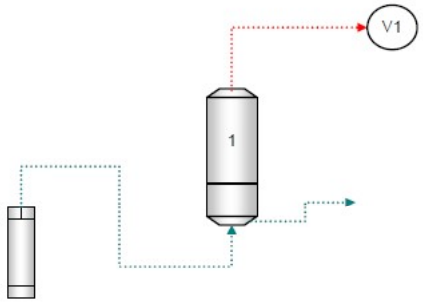
Introdução

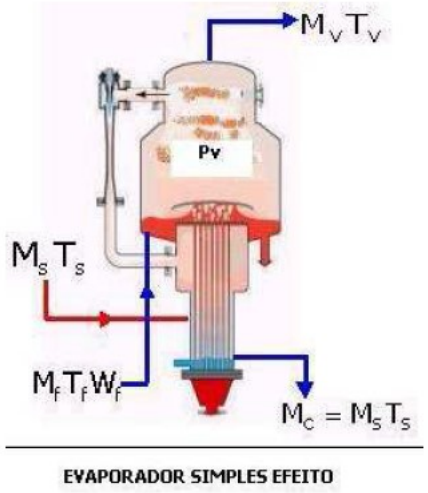

EVAPORAÇÃO
Quantidade de água a ser evaporada:
Evaporação
~ 750 kg/TC
(~ 88%)
Cozimento
~100 kg/TC
Energia
Evaporador
Energia
Meio de transferência de calor.
CTC, 2011

Introdução

ARRANJOS MAIS FREQÜENTES DAS PLANTAS DE EVAPORAÇÃO

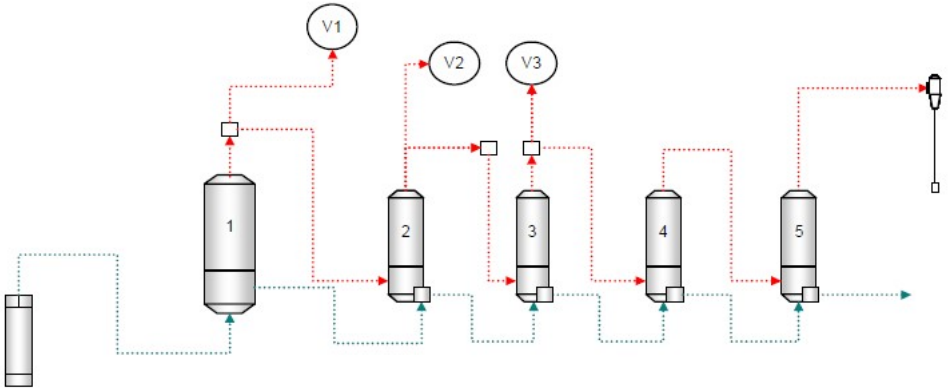
Simples efeito; usado em destilarias autonomas





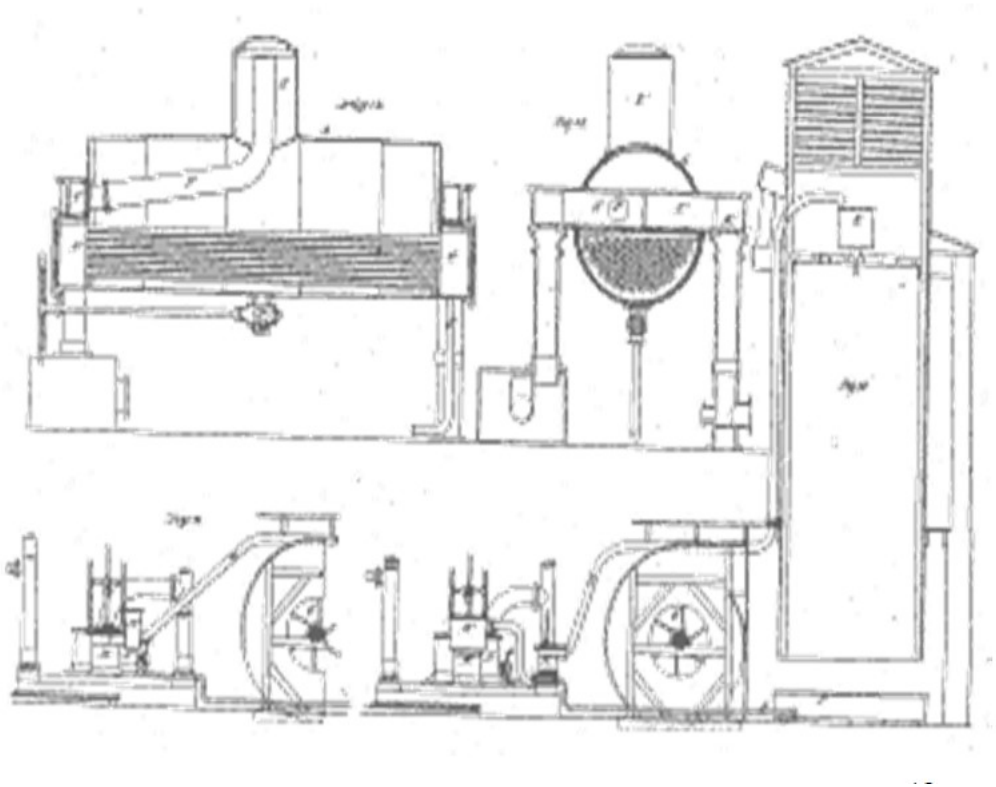
EVAPORADOR SIMPLES EFEITO

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



NORBERT RILLIEUX

Princípios termodinâmicos da Evaporação



Princípios 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 ???

Princípios da evaporação

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:

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

$E_{1º\ vaso} = 1.\ 1/4 = 1/4$ ... $E_{3º\ vaso} = 1.\ 3/4 = 3/4$

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

Princípios da evaporação

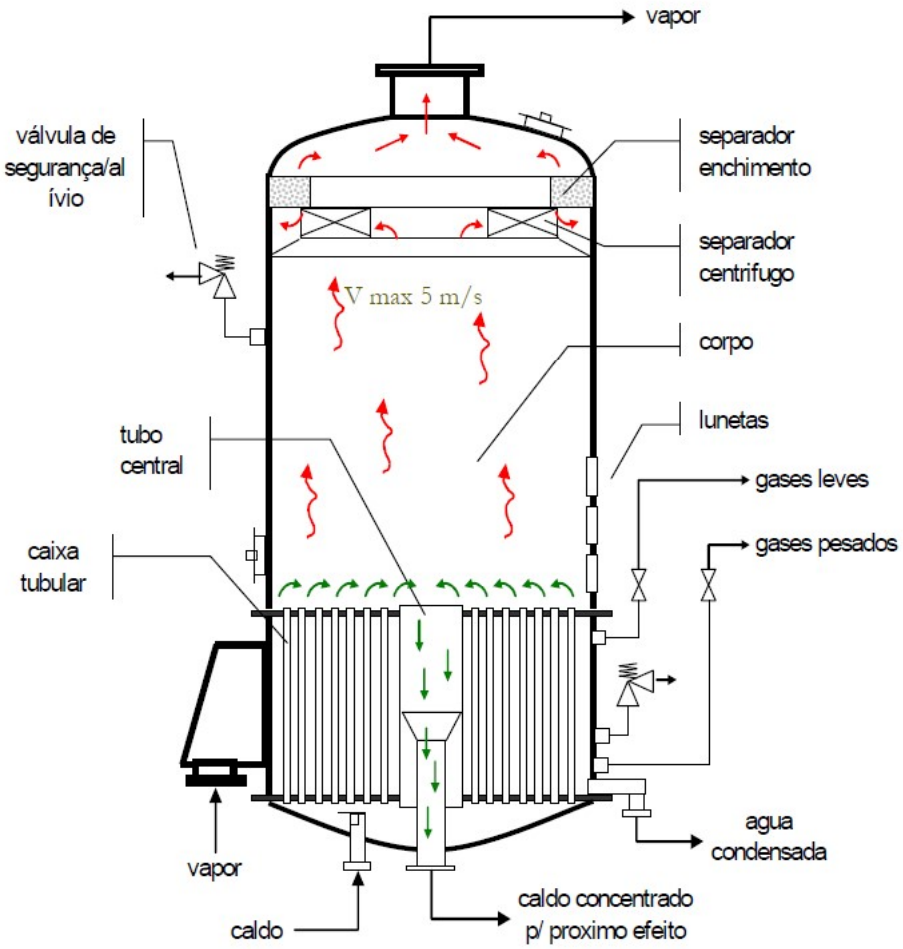
c) Terceiro Princípio:

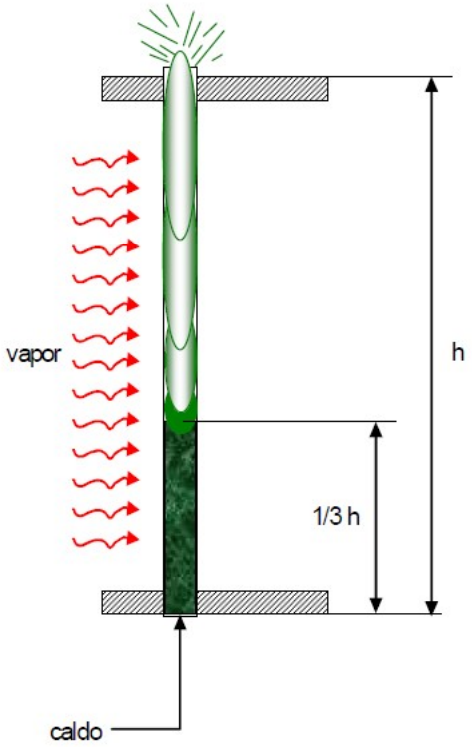
"Em todo aparelho no qual se condensa vapor, é necessária extrair continuamente o acúmulo de gases incondensáveis que ficam, internamente".

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

Evaporadores de multiplos-efeitos

3.5 - Principais características construtivas dos evaporadores (Roberts)

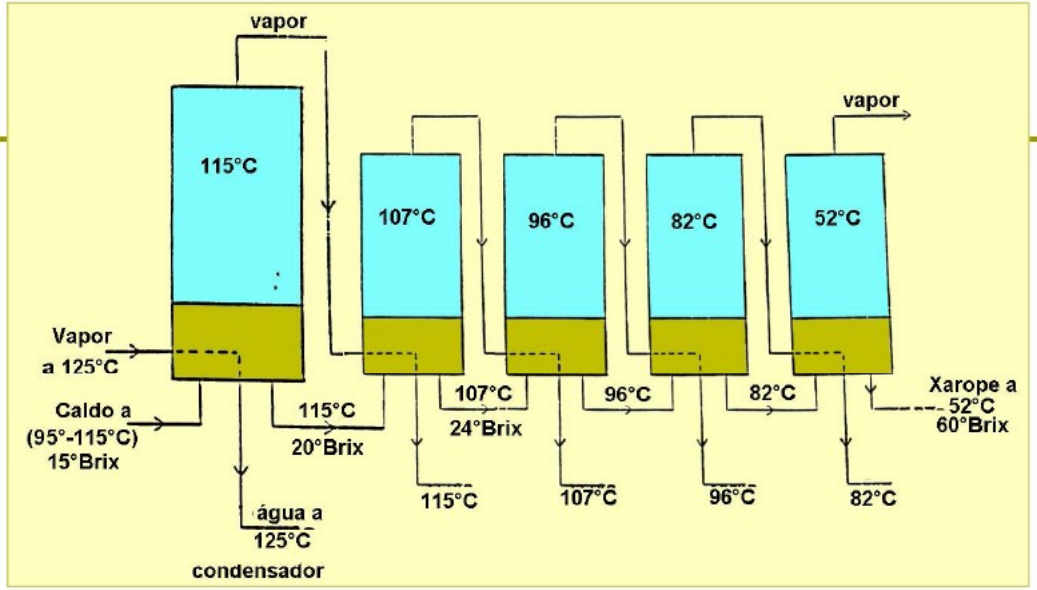




16

Evaporadores de multiplos-efeitos

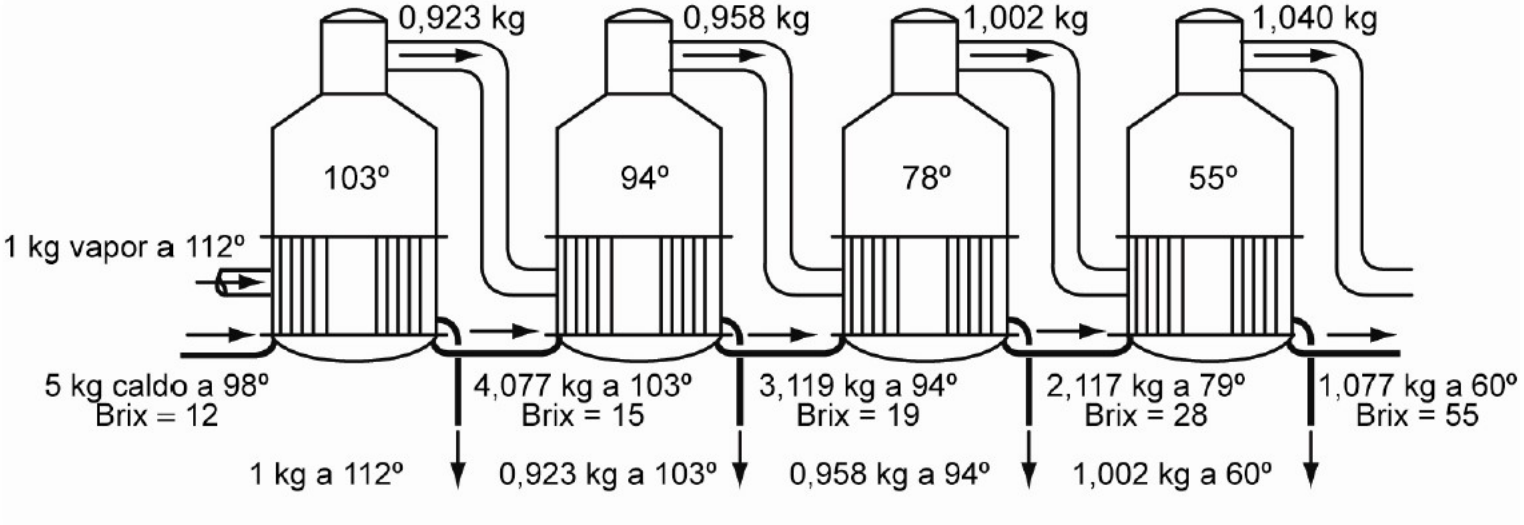
2.5. FUNCIONAMENTO DE UM MÚLTIPLO-EFEITO



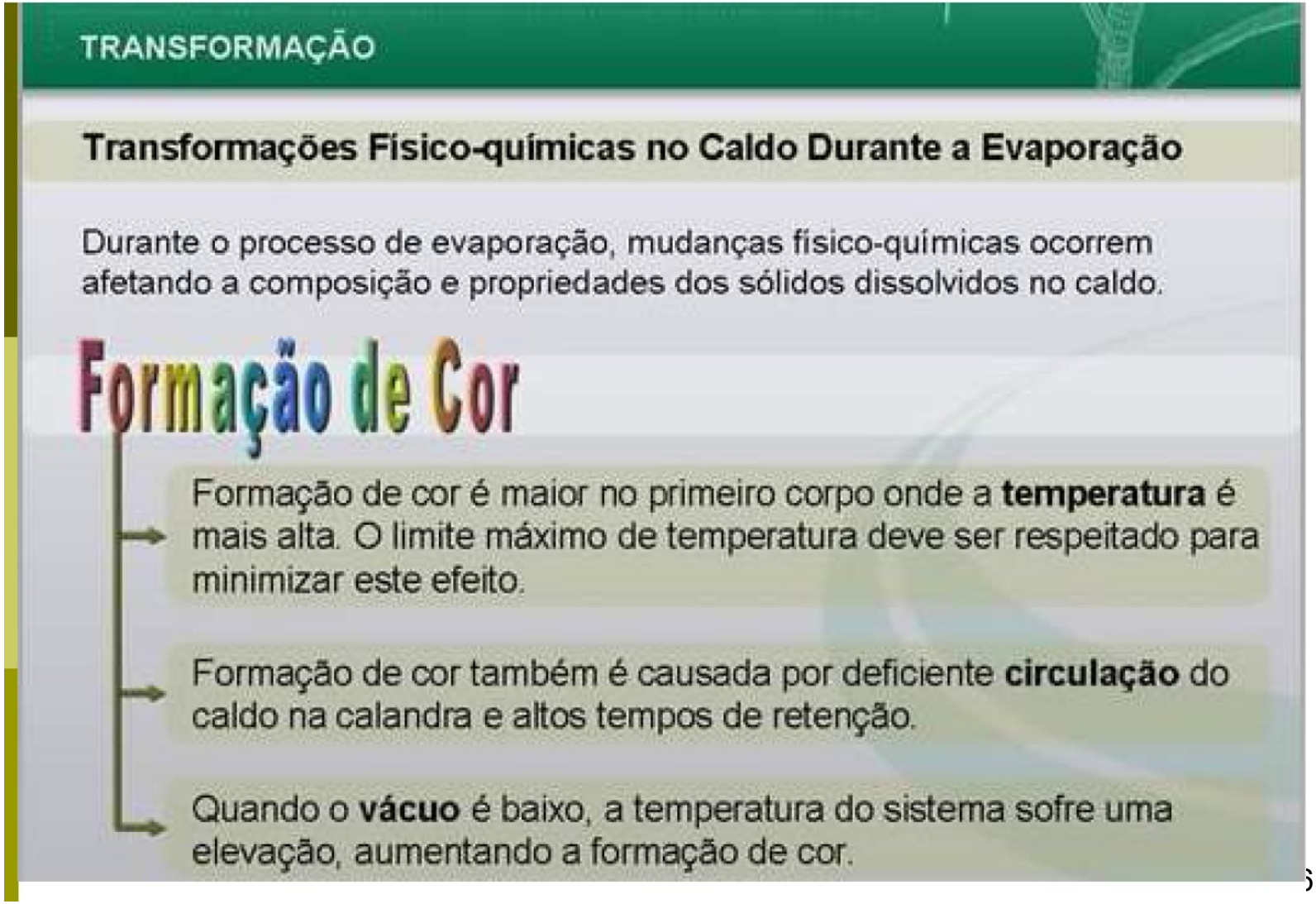
Relações entre pressões, temperaturas e Brix.

		Pré	1° V	2° V	3° V	4° V
Calandra	P (Kg/cm²)	1,33	0,69	0,28	—	—
	V (cmHg)	—	—	—	10	37
	T (ºC)	125	115	107	96	82
Câmara gases	P (Kg/cm²)	0,69	0,28	—	—	—
	V (cmHg)	—	—	10	37	66
	T (ºC)	115	107	96	82	52
Caldo Brix	Entrada	15	20	24	29	38
	Saída	20	24	29	38	60

BALANÇO TÉRMICO E DE MASSA



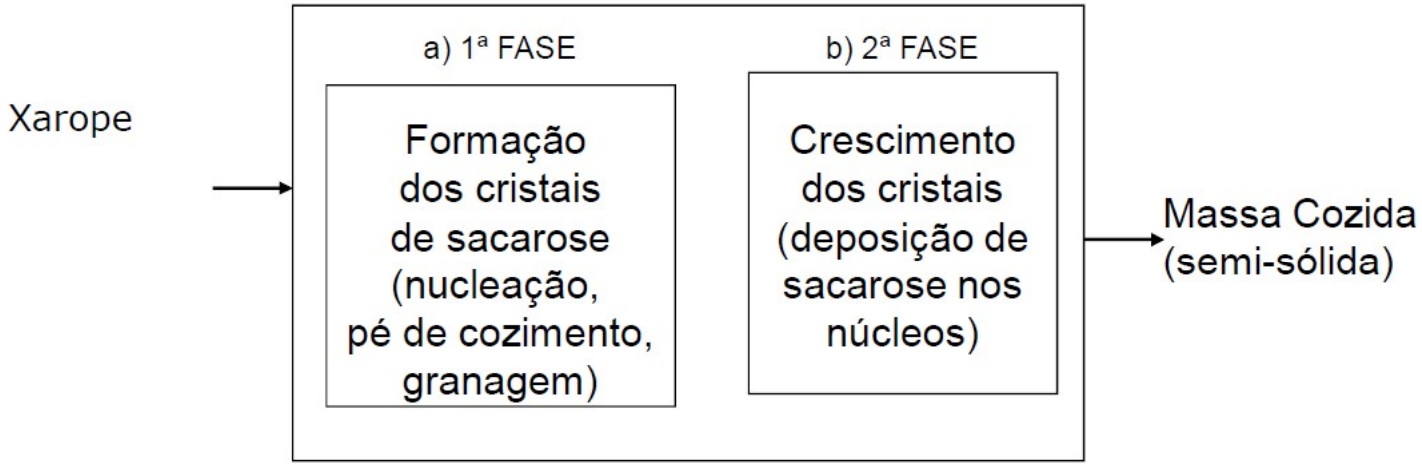
Efeitos da evaporação do caldo



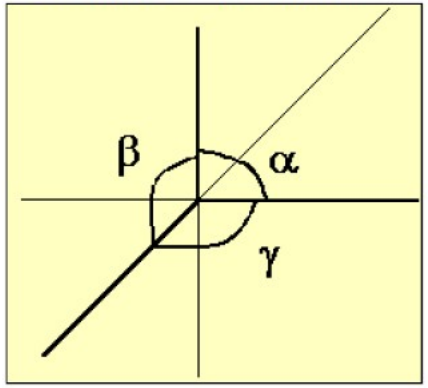
Cozimento

COZIMENTO DO XAROPE

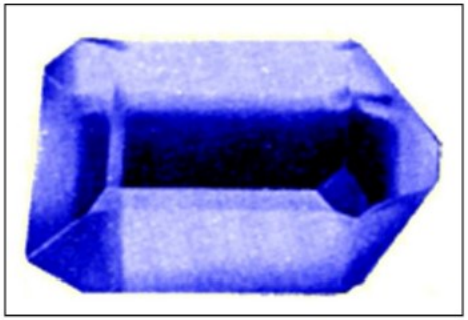
INTRODUÇÃO



Sacarose cristaliza



- sistema monoclínico
- 3 eixos: a, b e c e 3 ângulos α, β e γ



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.

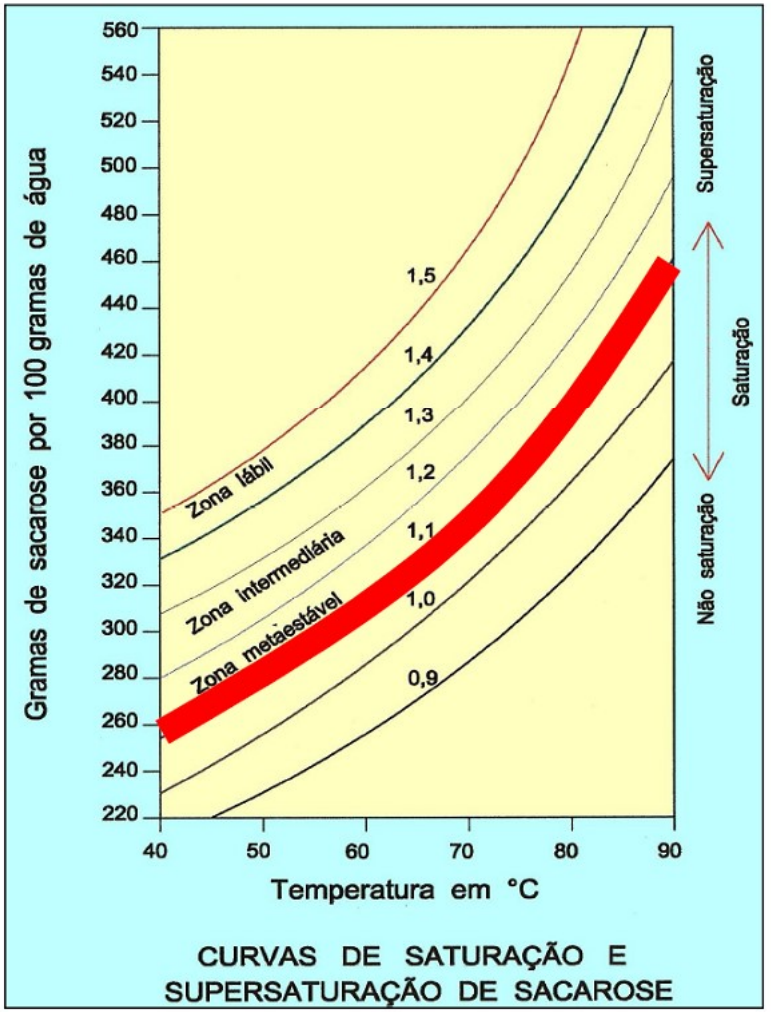
2 - **Zona intermediária** (CSS: 1,2 a 1,3)

- 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: >= 1,3)

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

Cozimento



CURVAS DE SATURAÇÃO E SUPERSATURAÇÃO DE SACAROSE

CSS > 1.0

CSS = 1.0

CSS < 1.0

Cozimento

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).

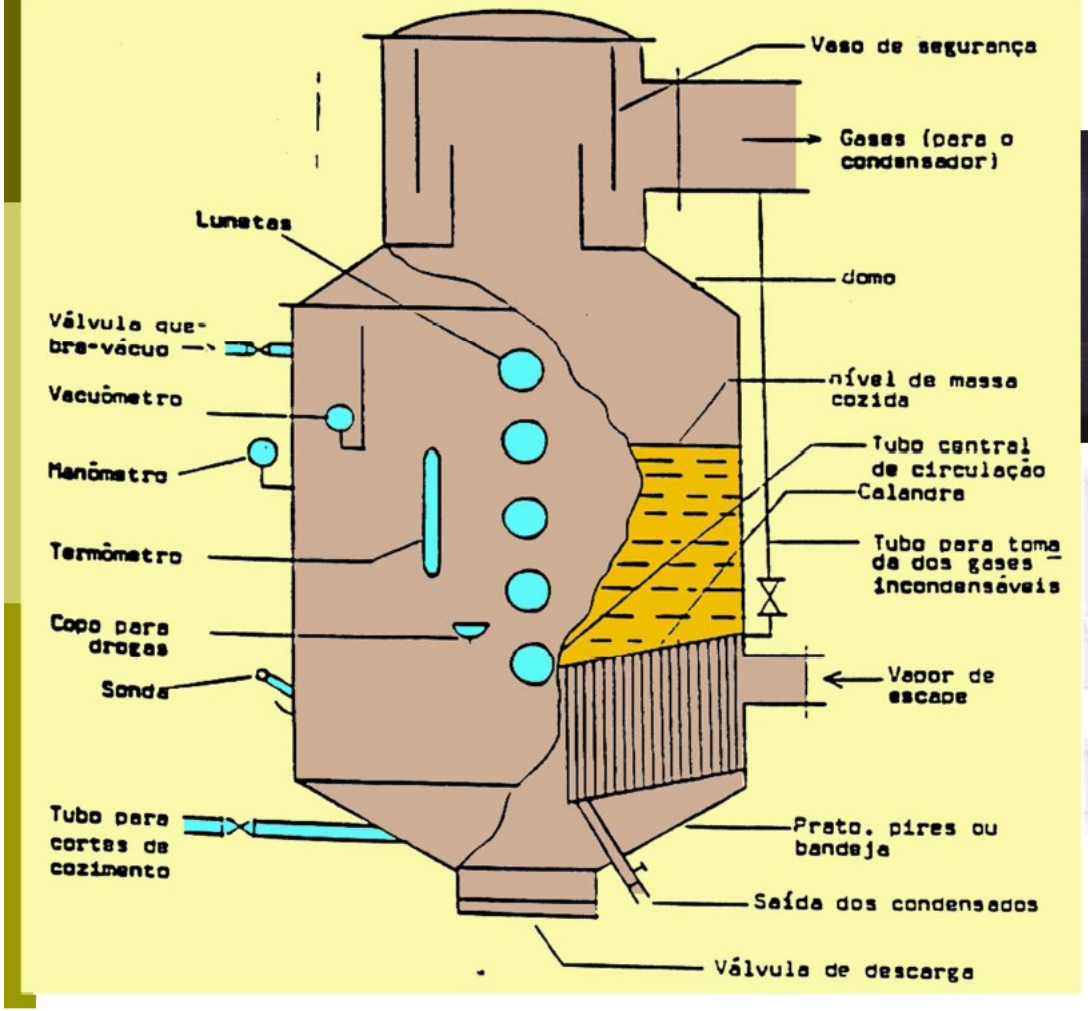
(2) **Choque**: obtida em condições de temperatura mais elevada (72°C) e sob vácuo (±24" - 50cmHg) → temperatura cai rápido (60cmHg - t = 61°C) atingida a zona lábil e forma cristais

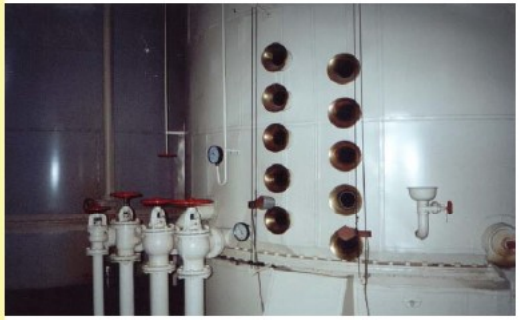
(3) **Indução**: conc. zona intermediária introduz com pó de sacarose (pé de açúcar), por ocorrer a cristalização.

(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).

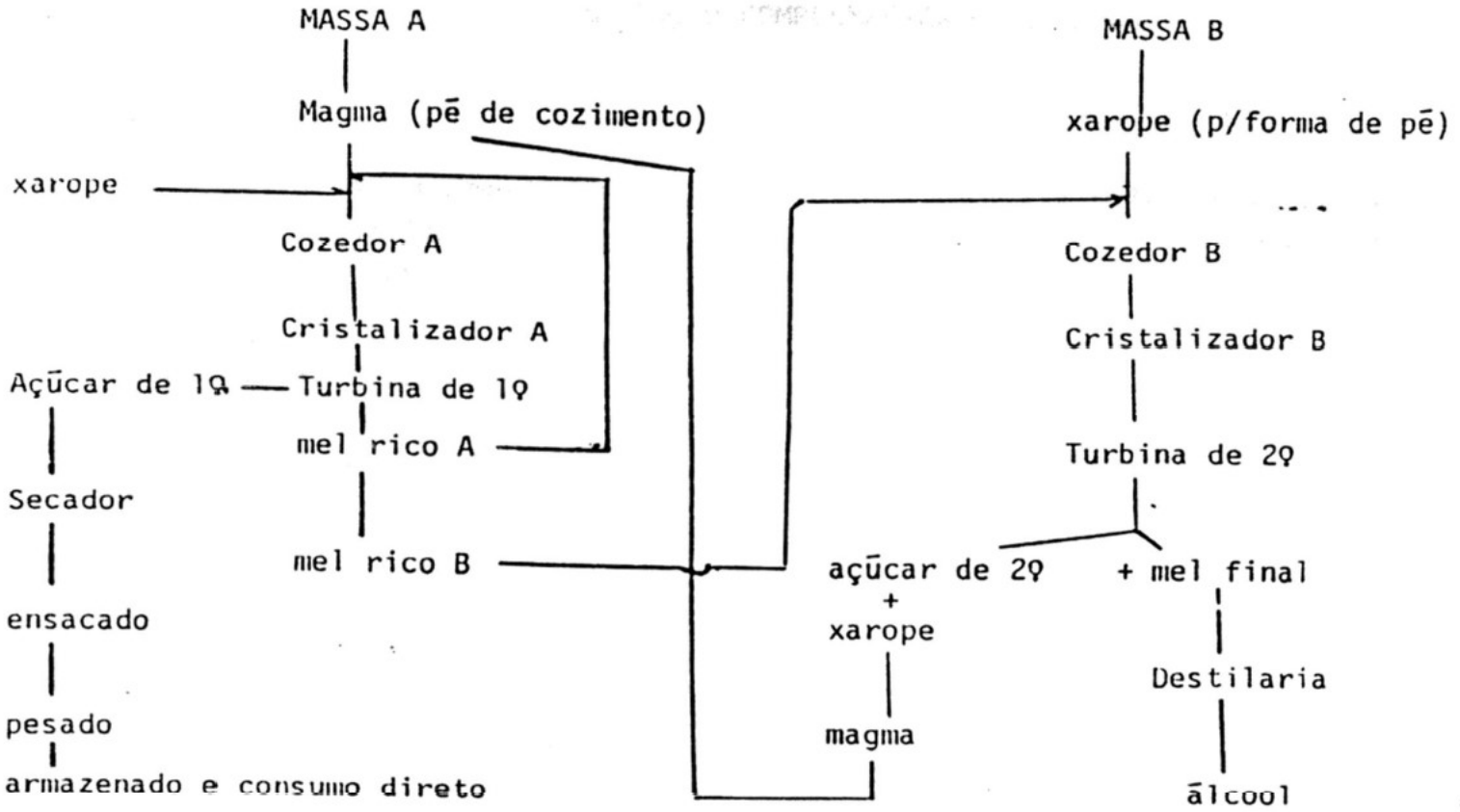
Cozimento

3.4.1. DESCRIÇÃO DE UM COZEDOR INTERMITENTE CLÁSSICO





Cozimento



Esquema de Cozimento de duas Massas

Obrigado pela atenção