

Universidade de São Paulo – USP

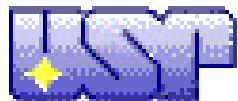
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Esalq

Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição - LAN

LAN 1458 – Açúcar e Álcool

**Matérias-primas para a produção de álcool e
preparo do mosto**

Prof. Antonio Sampaio Baptista



Matérias-primas para a produção de álcool e preparo do mosto

1 Introdução

1.1 Requisito indispensável nas matérias-primas

2. Requisitos nas matérias-primas de interesse industrial

3. Tipos de matérias-primas para produção de etanol

4. Potencial produtivo das principais matérias-primas

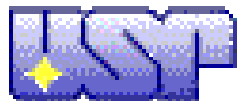
5. Por que a cana-de-açúcar é a matéria-prima preferida??

6 Purificação do caldo para produção de etanol

6.1 Tratamento do caldo - caleagem e decantação

7 Preparo do mosto

8 Considerações finais



1. INTRODUÇÃO



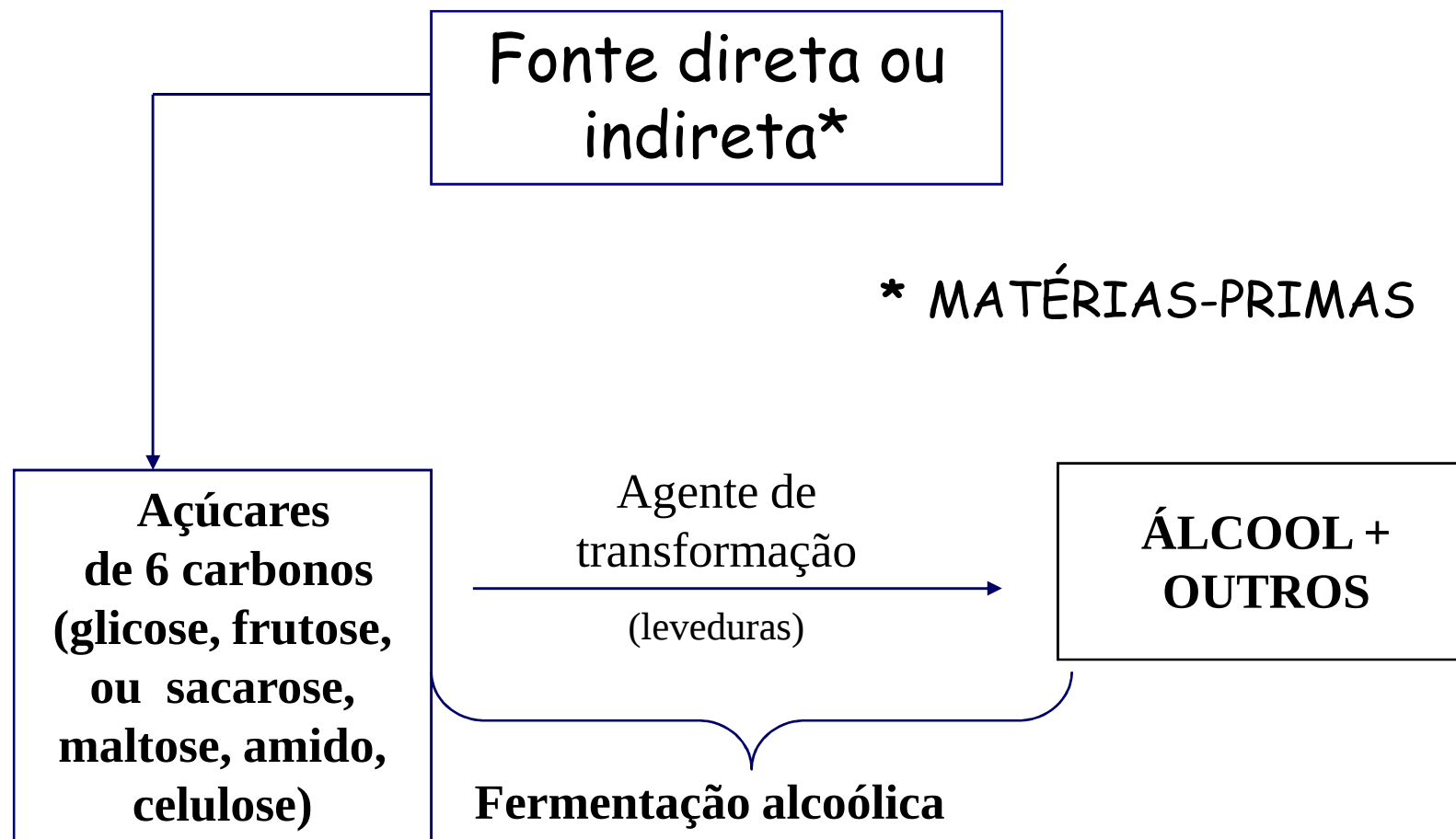
✓ A característica mais importante na matéria-prima é que esta permita ser transformada em álcool, de forma o mais simples, econômica e eficiente possível; através de um processo denominado fermentação alcoólica.

❖ A fermentação alcoólica pode ser simplificada no seguinte esquema:



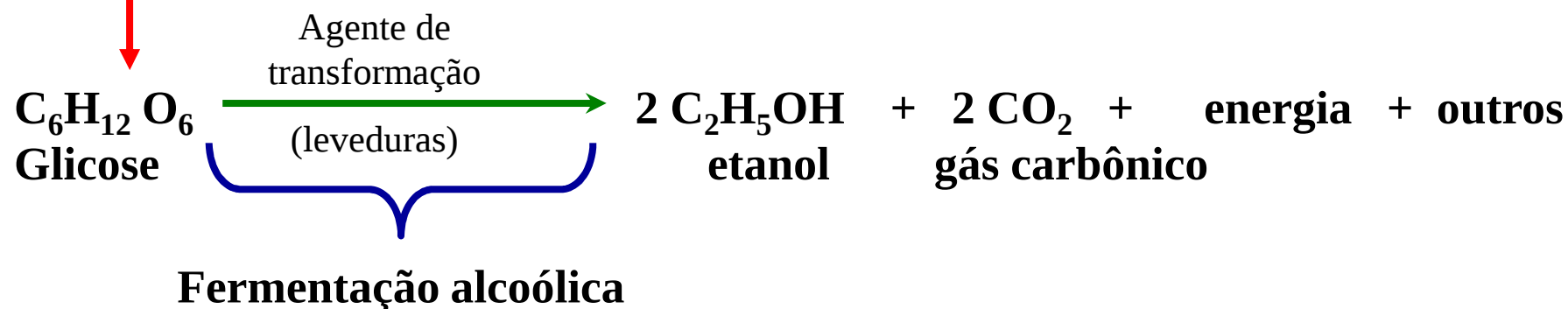
✓ Para que aconteça esta reação de biotransformação, qual é o pré-requisito indispensável na matéria-prima?!?

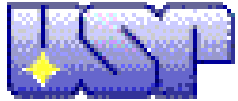
- ✓ O pré-requisito indispensável na matéria-prima para produzir etanol é que esta contenha CARBOIDRATOS metabolizáveis pelas leveduras, na sua composição.



Fonte direta ou indireta*

* MATÉRIAS-PRIMAS





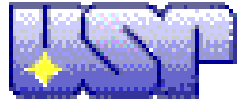
2. REQUISITOS NAS MATÉRIAS-PRIMAS DE INTERESSE INDUSTRIAL



✓ Requisitos na matéria-prima produção de etanol

R
e
q
u
i
s
i
t
o
s

- (1) Teor de carboidrato (alto)
- (2) Preço de produção do carboidrato (baixo)
- (3) Preço da transformação do carboidrato (baixo)
- (4) Quantidade existente da MP (grande)
- (5) Facilidade de aquisição e transporte da MP (grande)
- (6) Balanço energético (positivo)



3. TIPOS DE MATÉRIAS-PRIMAS



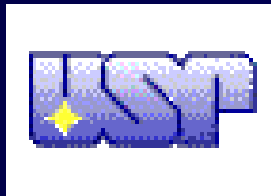
-
- ✓ Existem quatro grupos principais de matérias-primas que podem ser utilizados para produzir álcool.

1. Açucaradas

2. Amiláceas e feculentas

3. Celulósicas

4. Fermentadas



3. TIPOS DE MATÉRIAS-PRIMAS



3.1 Açucaradas

a) Diretamente fermentescíveis (C -4 a 6)
Ex.: frutas, mel de abelha (trioses, tetroses (eritrose) e hexoses)

b) não diretamente fermentescíveis (C - 12 a 18)

Ex.: CANA-DE-AÇÚCAR (SACAROSE),
beterraba (sacarose + rafinose) e maltose

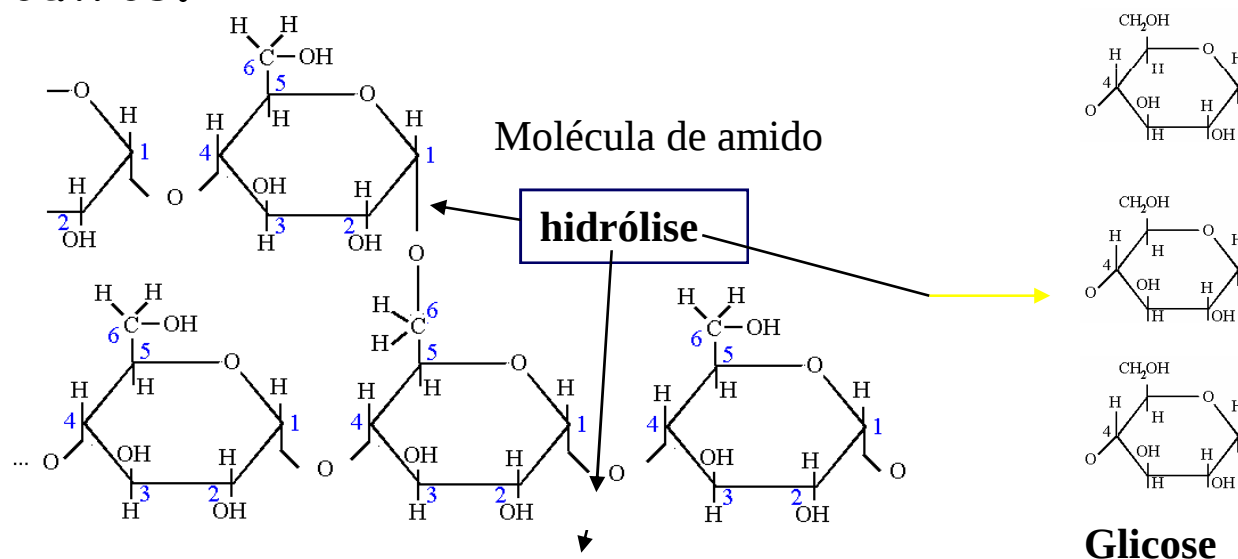
(c) mistas : Ex.: mel final (melaço)

3.2. Amiláceas e feculentas

✓ Polissacarídeo ($C_6H_{10}O_5$)_n

- Amido (cereais)/ fécula (raízes/tubérculos)

Exemplos: Milho, arroz, trigo, mandioca, batata doce e outros.



- ❖ Milho: 1 tonelada de milho permite produzir 420 litros de álcool.
- ❖ Mandioca: 1 tonelada de mandioca permite produzir 180 litros de álcool.

3.3 Celulósicas

(a) Lenhosas

Ex.: madeiras (50% celulose e 15% hemicelulose)

Celulose → glicose + glicose

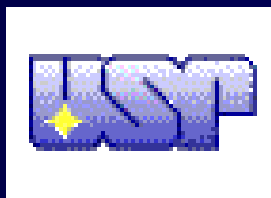
Hemicelulose → arabinose + xilose (5 carbonos)

* 1t madeira = 350 a 380 L álcool

* 1t de bagaço = 120 L de álcool

(b) Resíduos sulfíticos das fábricas de papel

✓ 1 tonelada de madeira produz 6 m³ de resíduos, o qual pode gerar de 48 a 60 litros de álcool.



3. TIPOS DE MATÉRIAS-PRIMAS



3.4 Fermentadas (exceção)

- ✓ reguladora de mercado;
- ✓ excesso de bebidas;
- ✓ necessidade de álcool vínico especial para produção de vinho do Porto;
- ✓ escassez de álcool.

Vinho : 1000 litros de vinho com 10,5 GL permite produzir 110 litros de álcool hidratado.

Aguardente: 1000 litros de vinho com 40 GL permite produzir 426 litros de álcool hidratado.

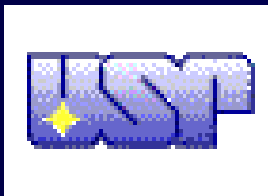
Tabela 1 – Rendimento e produtividade de álcool das principais matérias-primas usadas no Brasil

Cultura	Rendimento da lavoura (t/ha/ano)	Rendimento da industrial (L de álcool/t)	Produtividade de álcool (L/ha/ano)
Cana-de-açúcar	80	85	6800
Mandioca	15	180	2700
Milho	4,0*	420	1680
Milho	12**	420	4200
Sorgo	70	60	4200 – 8400**

*Produtividade média do Brasil, Agrianual – 2014.

** Produtividade média nos USA, USDA – 2016.

*** Duas safras no ano



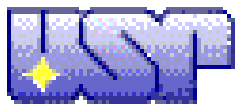
5. Por que a CANA-DE-AÇÚCAR é a matéria-prima preferida?

Matéria-prima (requisitos)

- (1) Teor de glicídios (**alto**)
- (2) Custo de produção do glicídio (**baixo**)
- (3) Custo da transformação do glicídio (**baixo**)
- (4) Quantidade existente (**grande**)
- (5) Facilidade de aquisição e transporte (**grande**)
- (6) Balanço energético (**positivo**)

Cana-de-açúcar

- ✓ Alta produtividade (4,5)
- ✓ Constituição do caldo (eleva 1 teor de ART) (1,2,3)
- ✓ Geração de bagaço (6)
- ✓ Condição edafo-climática favorável ao cultivo (2,4,5)
- ✓ Facilidade de cultivo e de colheita (2,4,5)
- ✓ Tradição na cultura da cana (5)



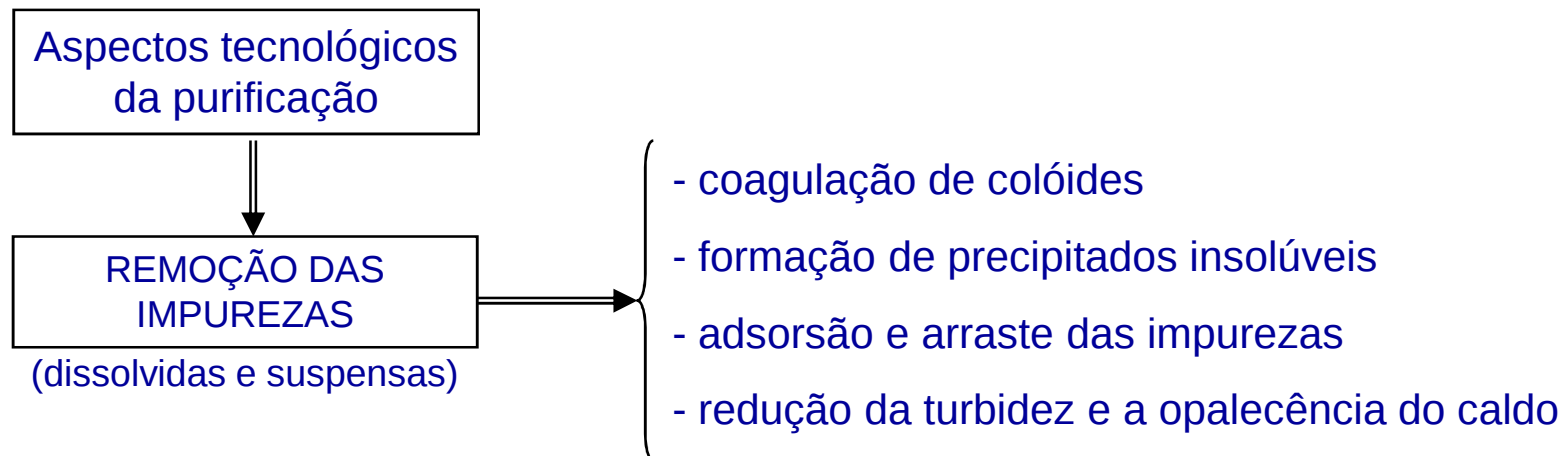
Operações preliminares ao processo industrial e extração do caldo



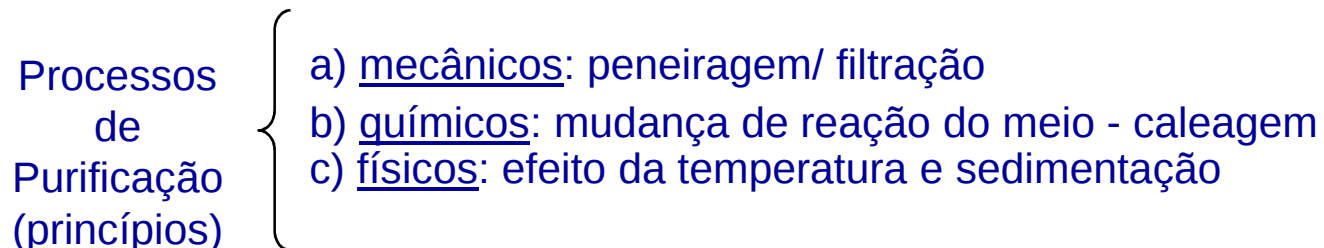
- ✓ As operações preliminares ao processo industrial para a produção de etanol são as mesmas utilizadas para a produção de açúcar.
- ✓ As operações de preparo da cana e extração do caldo para a produção de etanol também são as mesmas de facas niveladoras/cortadores e a extração do caldo por moenda ou difusor.

6 PURIFICAÇÃO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL

6.1. INTRODUÇÃO

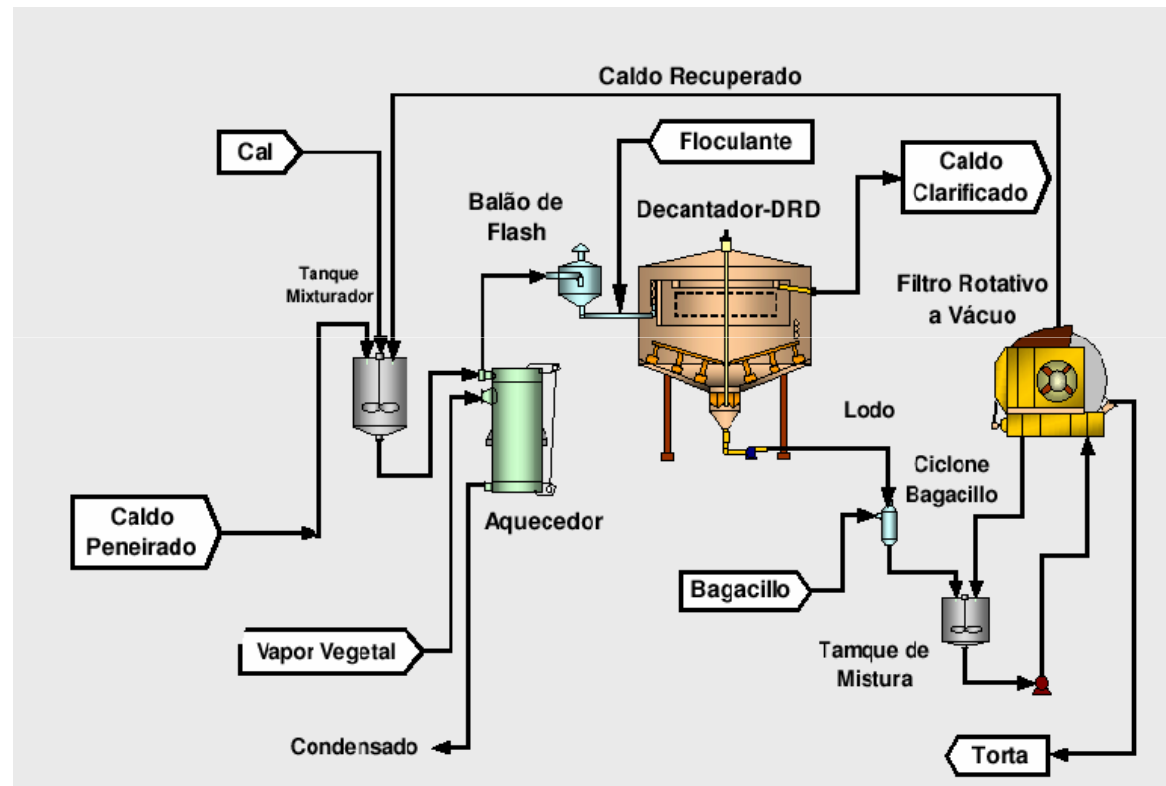
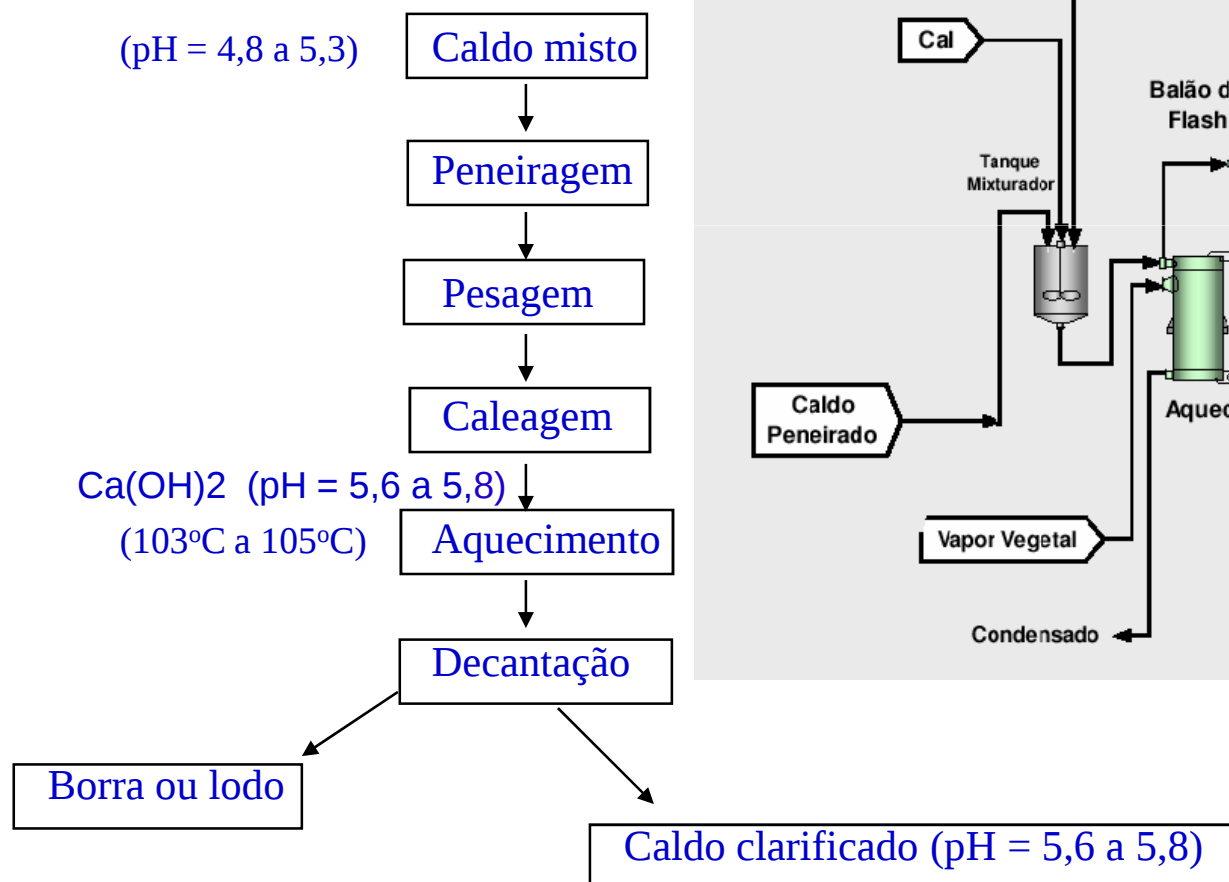


- ✓ **Composição do caldo:** variedade, tipo de solo, condições climáticas, adubação, tipo de colheita, tempo de queima/moagem, condições de moagem e etc.



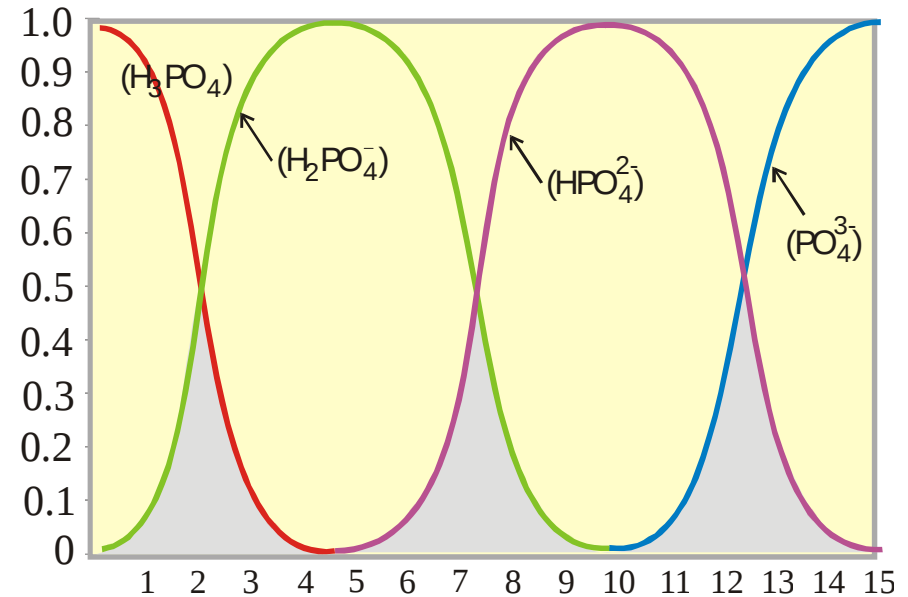
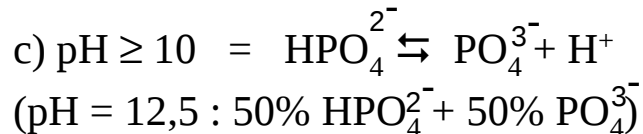
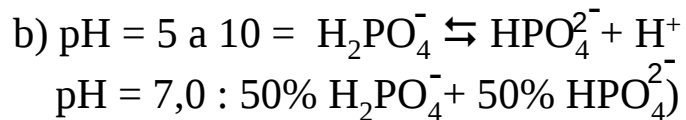
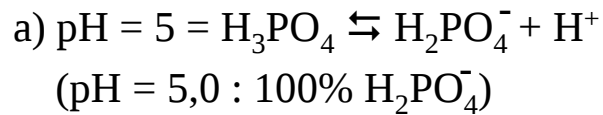
PURIFICAÇÃO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL

Esquemas Industriais de Clarificação



6.1.2. COMPORTAMENTO DOS FOSFATOS EM FUNÇÃO DO pH:

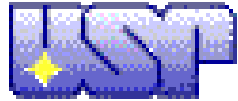
Fases de dissociação química de fosfato:



Para produção de etanol = pH 5,6 – 5,8 equilíbrio entre fosfato mono e biácidos

Para açúcar branco = pH 7,0 – 7,2 equilíbrio entre fosfato mono e biácidos

Para açúcar bruto = pH 7,5 a 8,0 maior quantidade de fosfato monoácido



Lei de Stokes - sedimentação depende

$$V_s = \frac{D^2 \cdot (d_1 - d_2) \cdot g}{18\mu} = \text{cm/seg} \left\{ \begin{array}{l} \text{resistência do meio} \\ \text{ação da gravidade} \end{array} \right.$$

onde:

V_s = velocidade de sedimentação (cm/s)

D = diâmetro da partícula (cm)

d_1 = peso específico do sólido (g/cm³)

d_2 = peso específico do líquido (g/cm³)

μ = viscosidade do líquido (poise)

g = aceleração da gravidade (cm/s²)

→ Velocidade no interior do aparelho - características:

$v = 3$ a 6 cm/min, escoamento laminar perfeito;

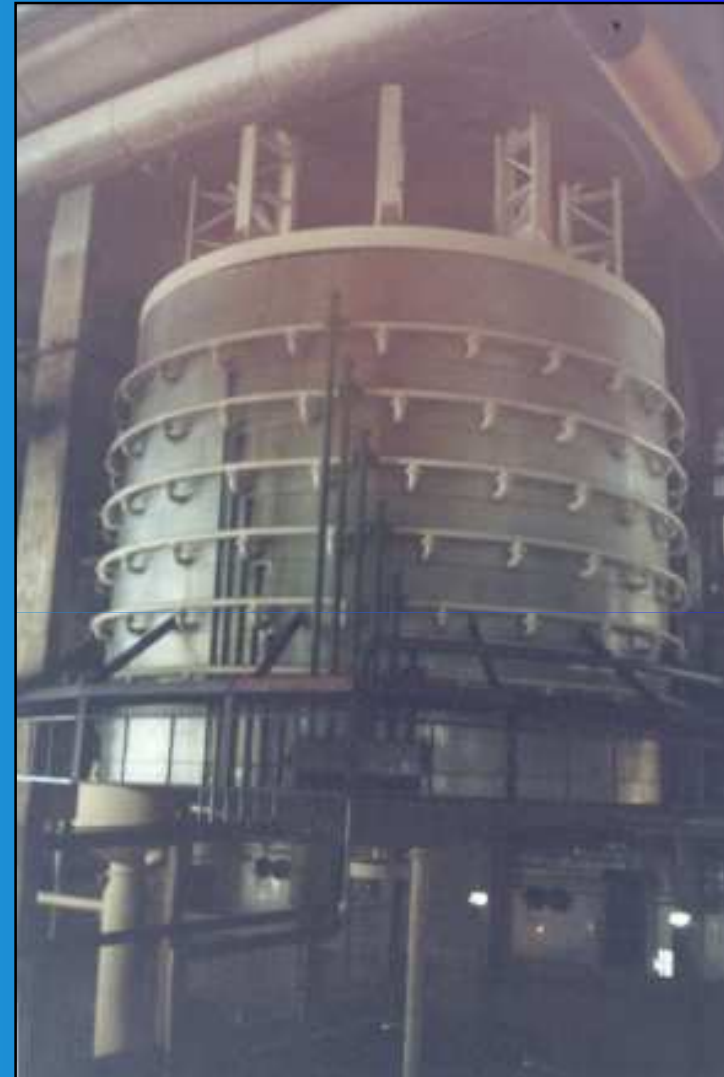
$v = 6$ a 12 cm/min, escoamento regular, excelente decantação;

$v = 12$ a 15 cm/min, principiam as irregularidades na decantação, mas possível;

$v > 15$ cm/min, turbulento

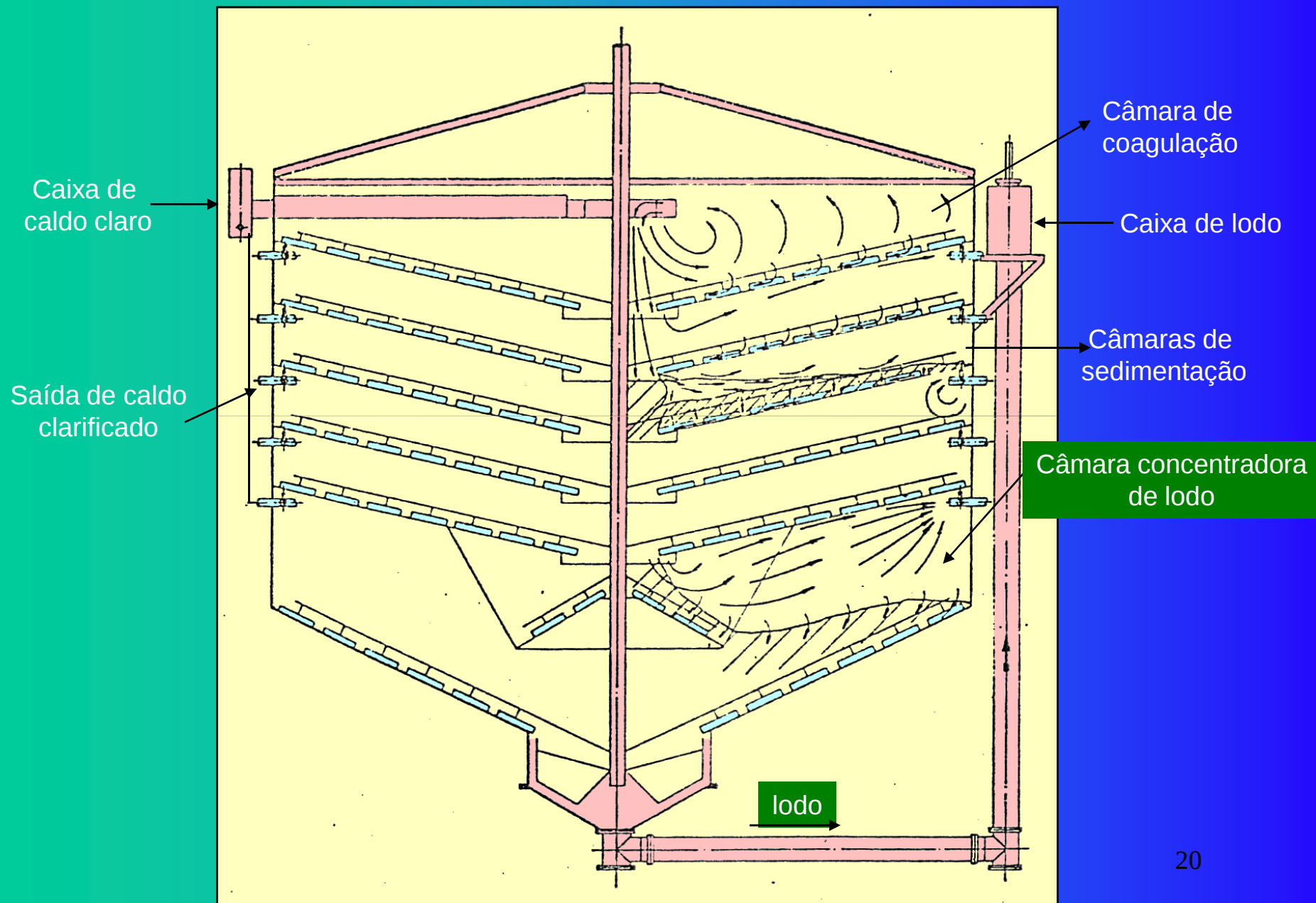


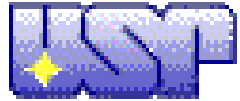
Decantador de caldo



Decantador "Door" com tomadas
externas de caldo

Funcionamento:



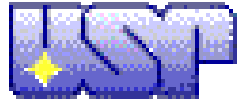


7 CONCENTRAÇÃO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL



Concentração do caldo na produção de etanol visa:

- ✓ Elevação do teor de açúcar total no mosto;
- ✓ Aumento do teor alcoólico do vinho;
- ✓ Garantir a continuidade do processo fermentativo em paradas de moagem (o xarope concentrado pode ser armazenado e utilizado durante os períodos de paradas na moagem da cana)

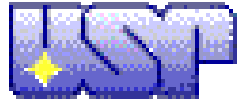


Preparo do mosto para produção de etanol



Preparo do mosto:

- Ajuste do Brix do caldo: depende do teor alcoólico desejado no vinho final e do tempo de fermentação. Em geral, o brix do mosto é ajustado na faixa de 18 – 22 °brix. Contudo, já há usinas trabalhando eficientemente com mosto de brix inicial na faixa de 28 a 32 °brix. A grande vantagem dessa decisão é a redução da quantidade de vinhaça produzida. Contudo, há dificuldade em conduzir a fermentação nessas condições (temperatura do mosto e toxidez do etanol).



Preparo do mosto para produção de etanol



-O resfriamento do caldo:

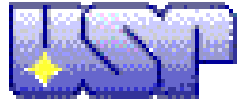
- ✓ Diminuir a temperatura do mosto;
- ✓ Aumentar o rendimento da fermentação;
- ✓ A temperatura do caldo alimentando na dorna (28 a 30 °C);
- ✓ O caldo deve ser resfriado à temperaturas convenientes por um equipamento adicional antes da dorna de fermentação.



8. Considerações finais



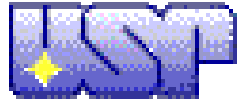
- ✓ Diversos tipos de matérias-primas podem ser utilizadas para a produção de etanol;
- ✓ Todas as fontes de açúcares, direta ou indiretamente, fermentescíveis podem ser utilizadas para produzir etanol. Contudo, na seleção da matéria-prima se deve considerar os seguintes fatores: teor de carboidrato, custo de produção do carboidrato, custo da transformação do carboidrato, quantidade disponível, facilidade de aquisição e transporte, tempo para a produção do carboidrato e balanço energético;



8. Considerações finais



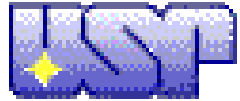
- ✓ No Brasil, a cana-de-açúcar é a matéria-prima mais viável técnico-economicamente para a produção de etanol e, por isso, é a mais utilizada;
- ✓ A matéria-prima após a colheita deve ser preparada antes de se conduzir a fermentação alcoólica;
- ✓ O preparo da matéria-prima para produção de etanol é semelhante àquele utilizado para produção de açúcar;



8. Considerações finais



- ✓ O preparo do mosto para a fermentação exige um tratamento do caldo específico para produção de etanol;
- ✓ O teor de açúcar e a temperatura são fatores muito importantes para possibilitar a redução do volume de vinhaça produzido, bem como se ter alta produtividade fermentativa, com redução do consumo de energia.



9. Referências



- 1 - RIBEIRO, C., BLUMER, S., HORII. **Fundamentos de tecnologia sucroalcooleira: tecnologia do açúcar.** Piracicaba: ESALQ/Depto de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, V.2, 1999. 66p.
- 2 - 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.
- 3 - PARANHOS, S.B. **Cana-de-açúcar, cultivo e utilização.** Campinas: Fundação Cargill, v.2, 1997. 856p.
- 4 - DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. **Cana-de-açúcar.** Campinas: Instituto Agronômico, 2008. 882 p.
- 5 - BAYER, E. A.; LAMED, R. The cellulose paradox: pollutant par excellence and/or a reclaimable natural resource? **Biodegradation**, v. 3, p. 171-188. 1992

MUITO OBRIGADO PELA ATENÇÃO!!

Prof. Antonio Sampaio Baptista

e-mail: asbaptis@usp.br

Setor de Açúcar e Álcool

LAN/ESALQ/USP

