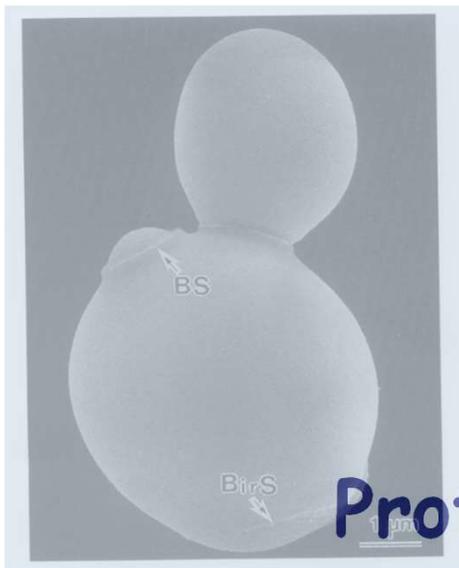


Universidade de São Paulo – USP

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

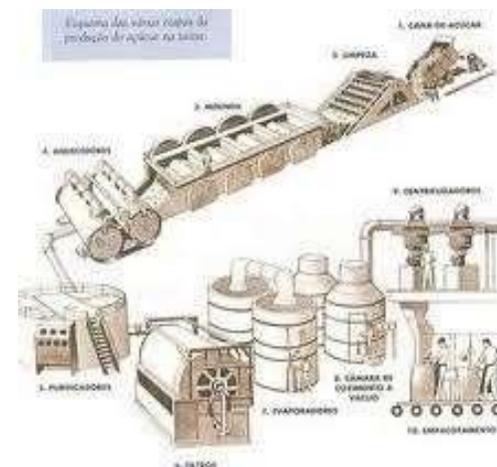
LAN 0300 – AÇÚCAR, FERMENTAÇÕES E BEBIDAS

Produção de etanol



Prof. Antonio Sampaio Baptista

- 1 - Introdução
- 2 - Matérias-primas para produção de etanol
- 3 - Purificação do caldo
- 4 - Concentração do caldo
- 5- Preparo do mosto
- 6 - Fermentação alcoólica
- 7- Considerações finais



- ✓ 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



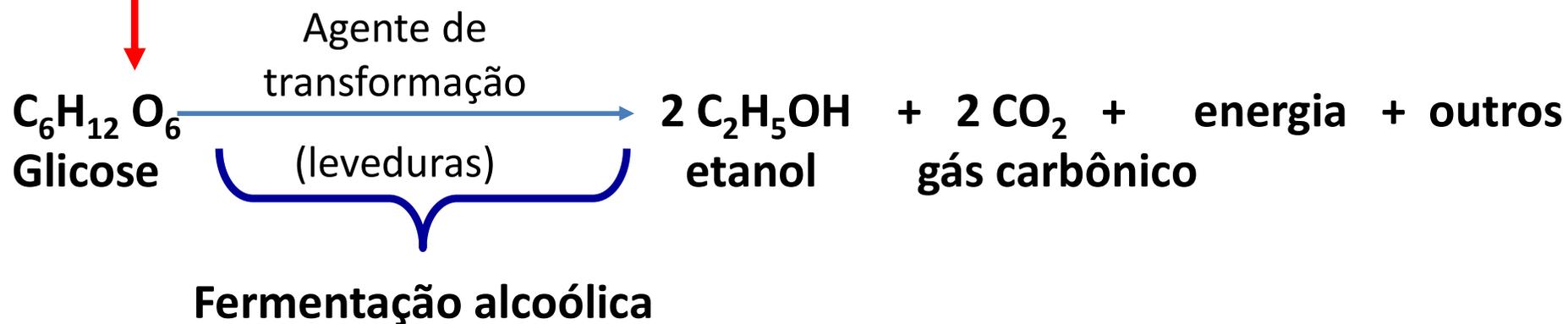


1 - INTRODUÇÃO



Fonte direta ou indireta*

* MATÉRIAS-PRIMAS





1 - INTRODUÇÃO



1.1 Requisitos nas matérias-primas de interesse industrial

Matéria-prima
(requisitos)

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



2 - MATÉRIAS-PRIMAS PARA PRODUÇÃO DE ETANOL



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

1. Açucaradas

2. Amiláceas e feculentas

3. Celulósicas

4. Fermentadas



2 - MATÉRIAS-PRIMAS PARA PRODUÇÃO DE ETANOL



2.1 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)



2 - MATÉRIAS-PRIMAS PARA PRODUÇÃO DE ETANOL

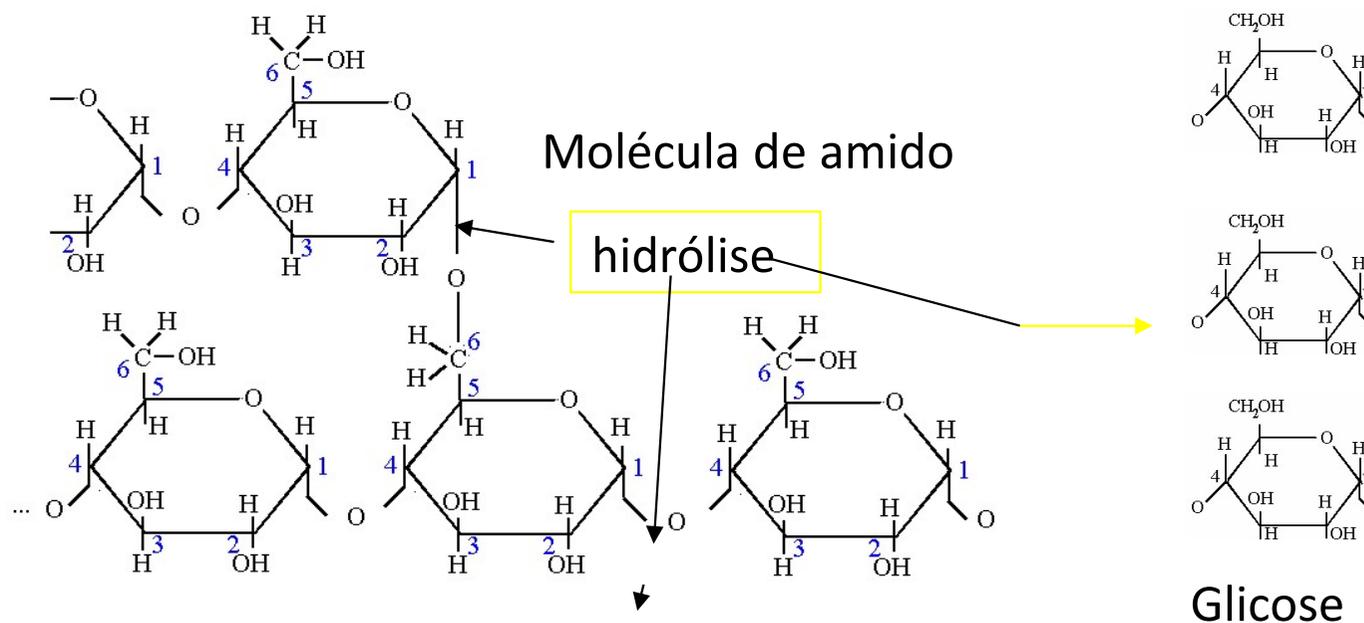


2.2. Amiláceas e feculentas

✓ 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.**



2 - MATÉRIAS-PRIMAS PARA PRODUÇÃO DE ETANOL



2.3 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.



2 - MATÉRIAS-PRIMAS PARA PRODUÇÃO DE ETANOL



2.4 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.



2.5. Potencial produtivo das principais matérias-primas



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	10**	420	4200
Sorgo	70	60	4200 – 8400**

*Produtividade média do Brasil, Agriannual – 2007.

** Produtividade média nos USA, USDA – 2007.

*** Duas safras no ano



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



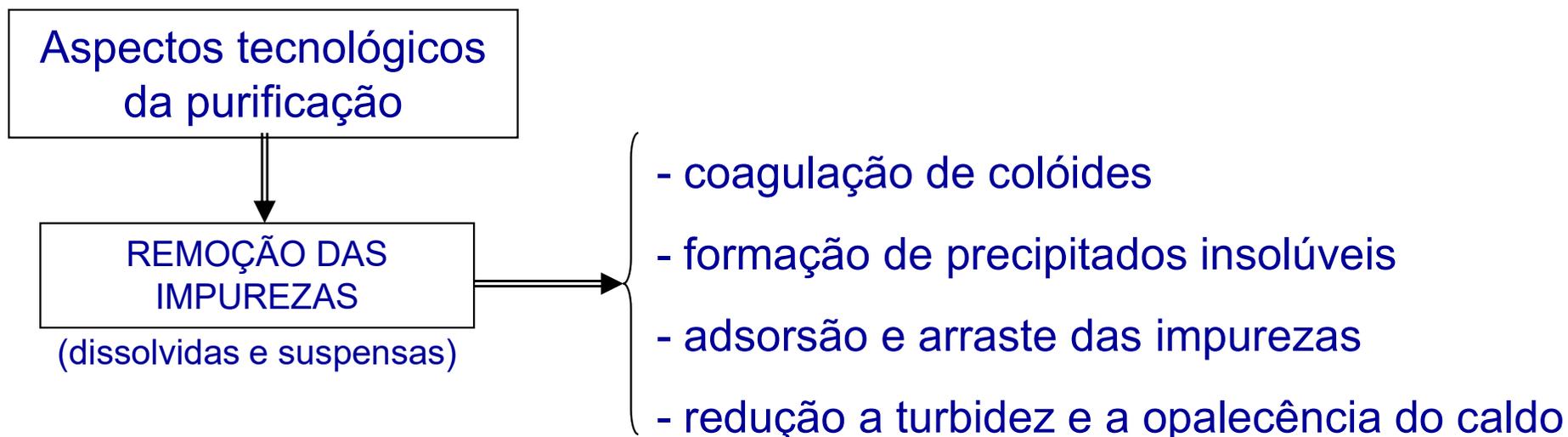
Matéria-prima (requisitos)

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

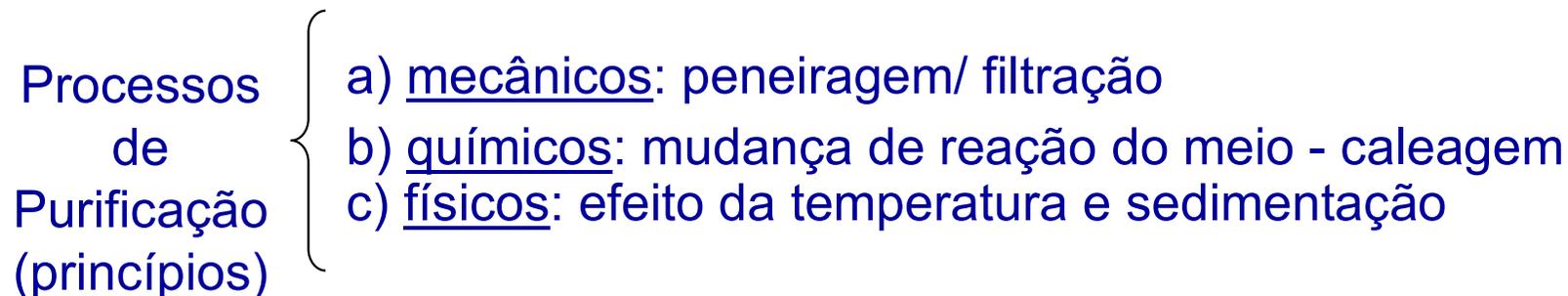
Cana-de-açúcar

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

3.1. Considerações gerais

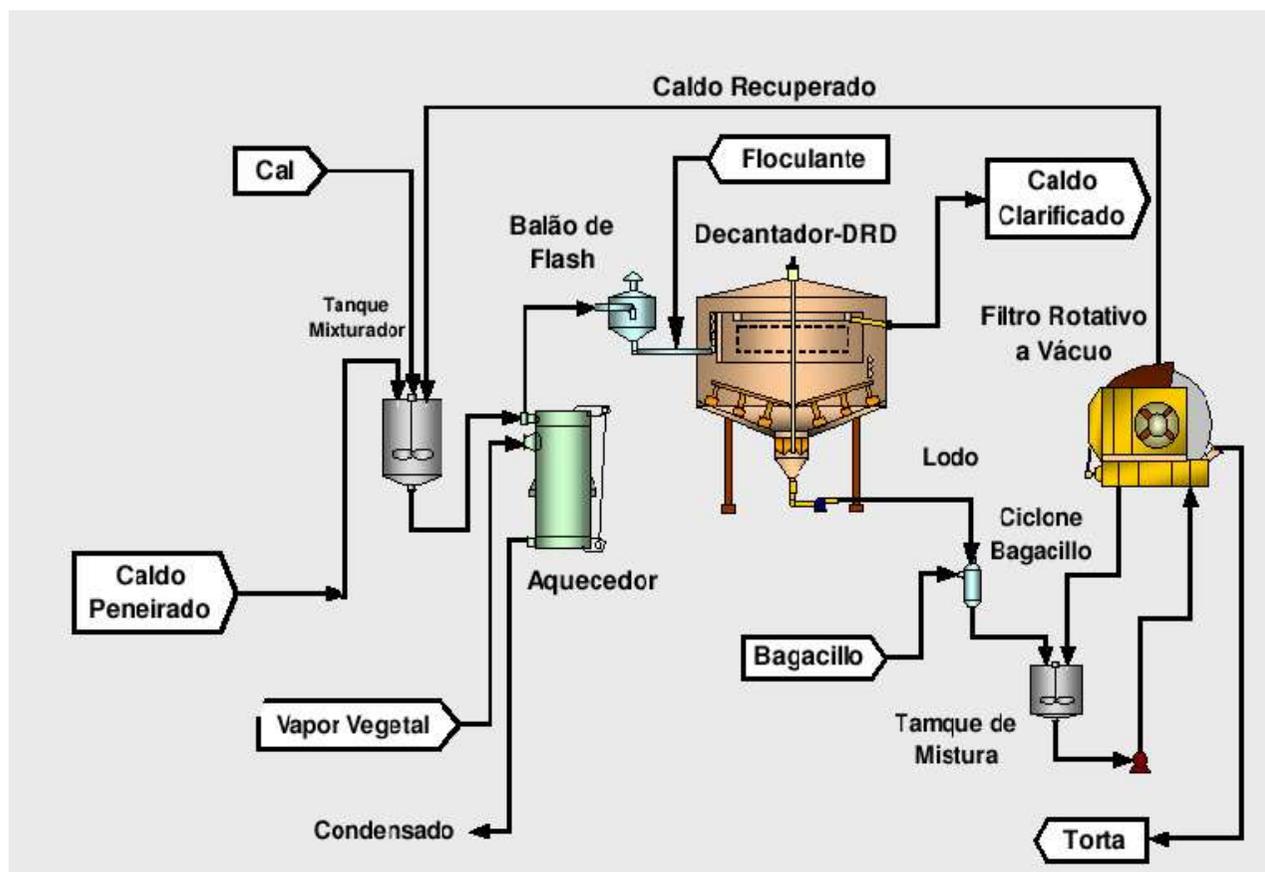
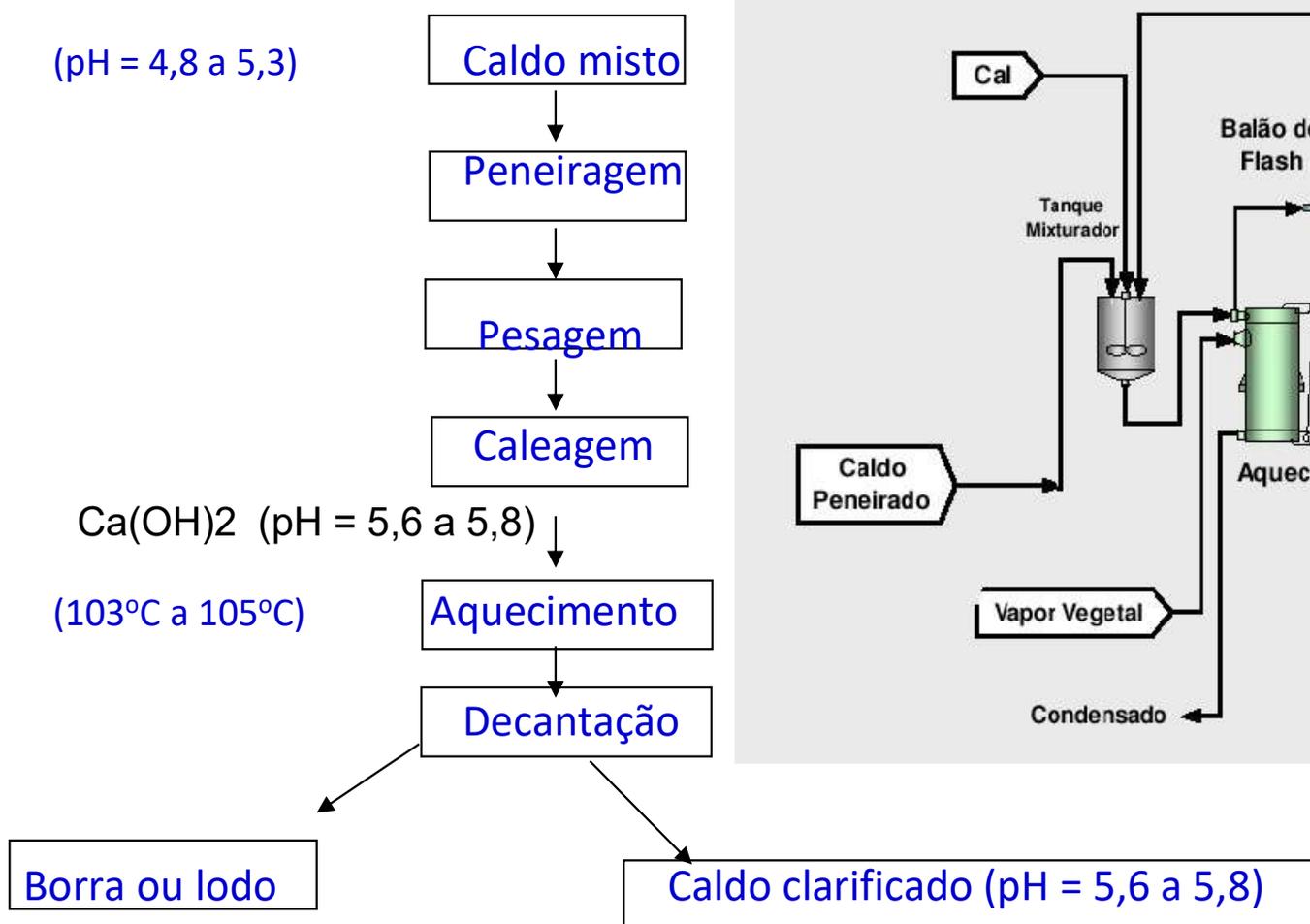


- ✓ **Composição do caldo:** variedade, tipo de solo, condições climáticas, adubação, tipo de colheita, tempo de queima/moagem, condições de moagem e etc.



3. PURIFICAÇÃO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL

3.2 Esquemas Industriais de Clarificação





4 CONCENTRAÇÃO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL



4.1 A concentração 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)



5 Preparo do mosto para produção de etanol



5,1 Preparo do mosto:

Em geral, o brix do mosto é ajustado na faixa de 18 - 22 °brix.

- As usinas produtoras de etanol a partir de milho utilizam com mosto de brix inicial na faixa de 30 a 35 °brix.
- A grande vantagem dessa decisão é a redução da quantidade de vinhaça produzida.
- Dificuldade em conduzir a fermentação nessas condições (temperatura do mosto e toxidez do etanol).



5 Preparo do mosto para produção de etanol



5.2 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.

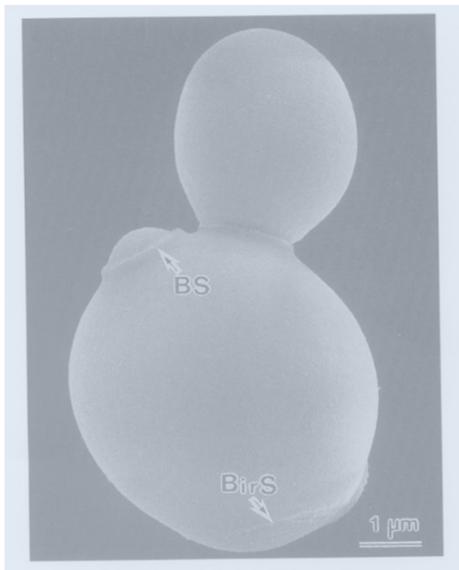
Na fermentação alcoólica, o que é mais importante no microrganismo?

O microrganismo mais utilizado para produzir é a levedura da espécie *Saccharomyces cerevisiae*;

No Brasil, a fermentação alcoólica industrial não é conduzida sob condições estéreis.

➤ Microrganismo no processo industrial de produção do álcool

- Leveduras





6.1 Microbiologia da Fermentação Alcoólica



- ✓ Microrganismo produtor de álcool e microrganismos produtores de não-alcoóis.

Isso é questão de vida ou morte! **Tem que saber.**

- Qual microrganismo é o mais interessante para a produção de álcool, no processo industrial??

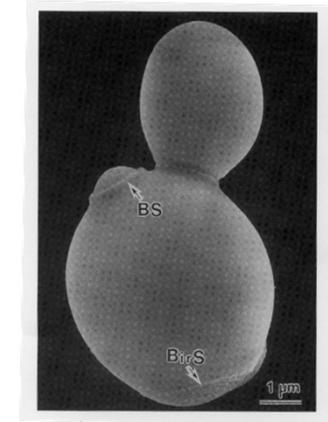
Essa é questão de prova.
Tem que saber!!.

- A levedura - *Saccharomyces cerevisiae*

- Quais são os microrganismos indesejáveis no processo de produção de álcool? - As bactérias

-Coexistência no processo industrial

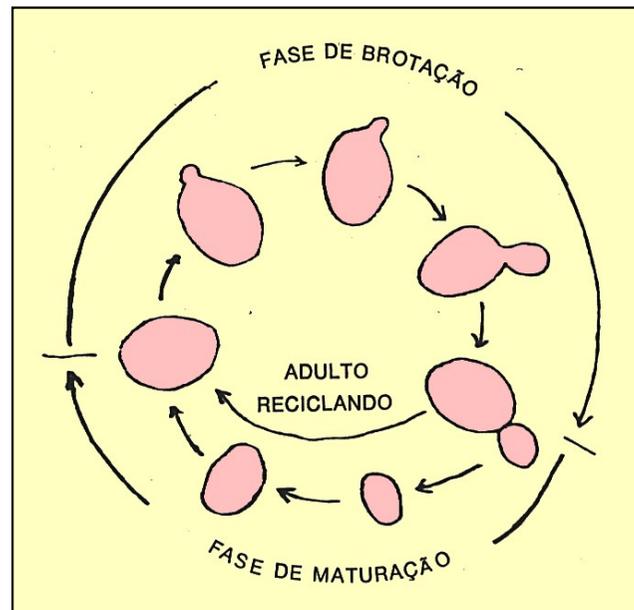
Desejável: somente as leveduras



Leveduras → unicelulares, frequentemente ovais, arredondadas e as elípticas.

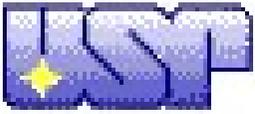
- Comprimento: 5 - 16 micrometros
- Largura: 3 - 7 micrometros
- Tamanho: 5 vezes maior que bactérias (observação ao microscópio – 100 a 400 x).

- Reprodução
- (a) brotamento ou gemulação (multiplicação vegetativa)
 - assexuada -
 - (b) esporulação (formação de “ascos”)
 - sexuada sob estresse -

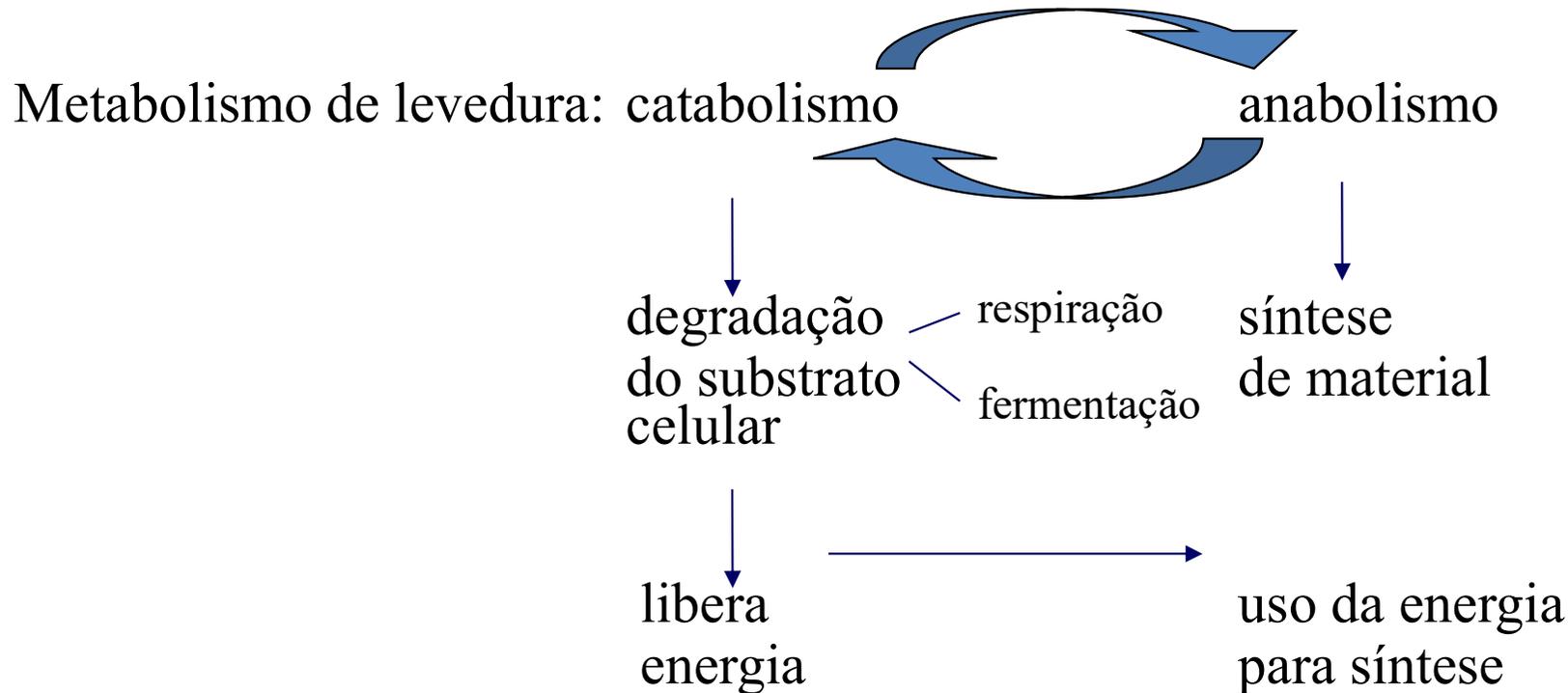


Brotamento

Figura 4 - Ciclo vegetativo de leveduras alcoólicas. (Horii, 1980)



6.4. Metabolismo da levedura



(1) Respiração → oxidação biológica de substratos orgânicos sob sistemas multienzimáticos que catalizam a oxidação → transporte de elétrons na cadeia respiratória onde há ativação do oxigênio (aceptor e-) e formação de água.

(2) Fermentação → reações em que compostos orgânicos atuam como substratos e como agentes de oxidação, em uma sequência ordenada de reações enzimáticas.

Bioquímica da fermentação

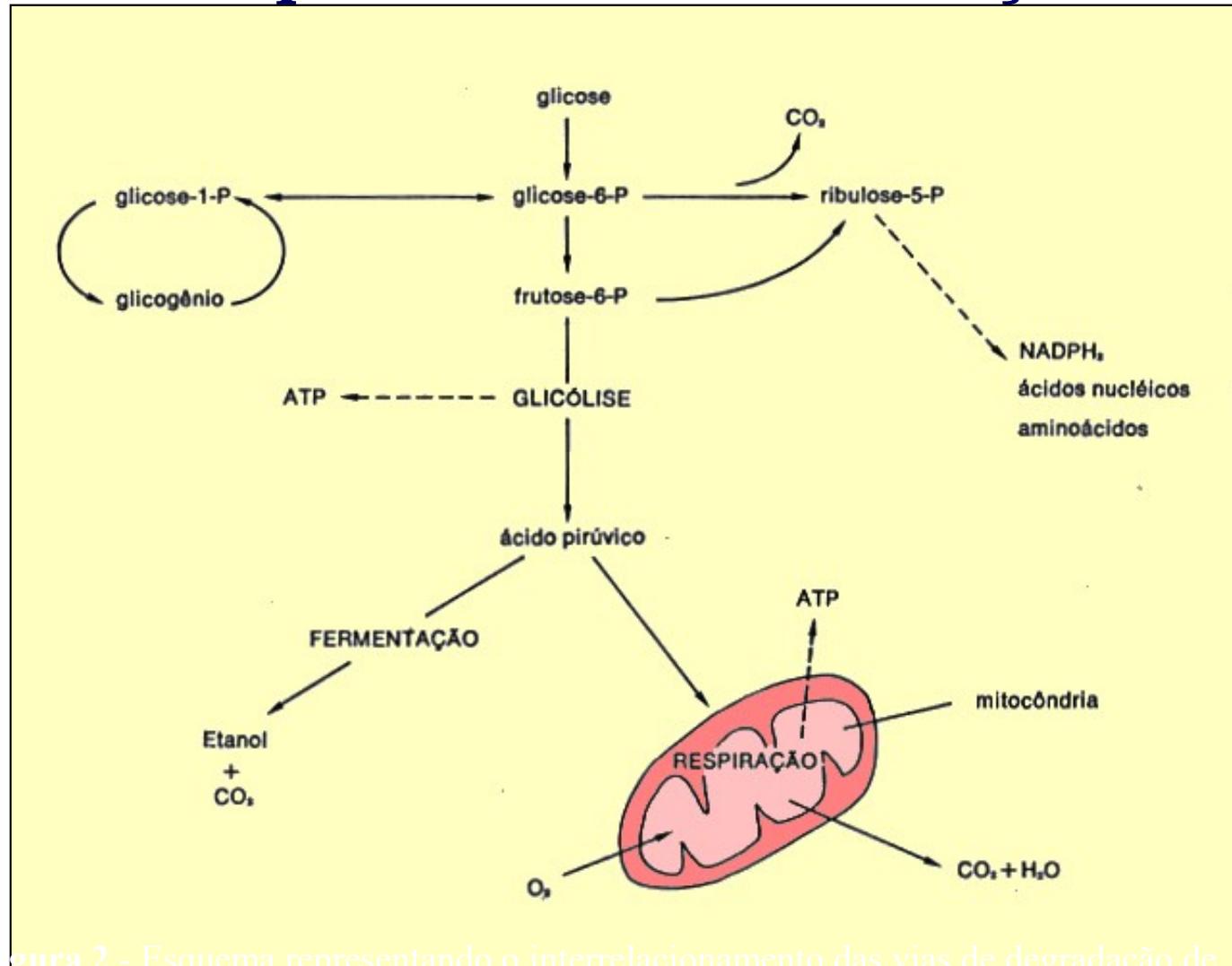


Figura 2 - Esquema representando o interrelacionamento das vias de degradação de



6.5 Fatores interferentes no metabolismo da levedura



(7.1) Influência da glicose

Conc. Glicose $>15,0\%$ (150 g/L) - pode inibir enzimas fermentativas.

Conc. Glicose de 0,3 a 0,75 % - inibição seletiva da respiração.

Conc. Glicose $\cong 5\%$ em meio aeróbico \rightarrow via fermentativa completa, pois mitocôndria é reprimida e citocromo não funcionam.

Conc. Glicose baixa e oxigênio alto \rightarrow catabolismo oxidativo / respiração (não há fermentação) \rightarrow efeito Pasteur

(7.2) Efeito do Oxigênio / Agitação

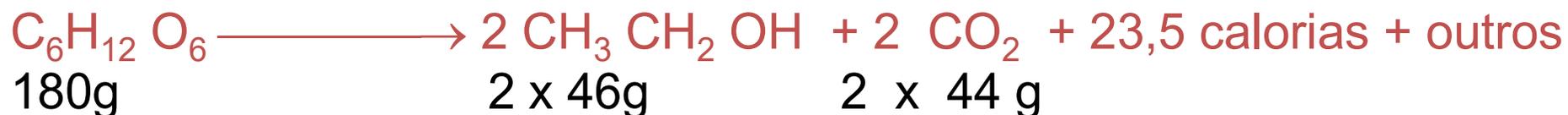
A moderada aeração (volume de O_2 : 1 a 2 vezes o volume de mosto/min. Por exemplo, 1 L litro de mosto adicionar de 1 a 2 L de O_2 /min.) auxilia na suspensão das células mais do que efeito direto do oxigênio (maior superfície de contato).

É capaz de induzir a respiração, dependendo da concentração de glicose do meio.

Segundo a equação de Gay-Lussac para a fermentação alcoólica, tem-se:



Rendimento alcoólico ideal:



180 gramas de ART ----- 92 gramas de etanol $\rightarrow x = 51,11$ gramas
 100 gramas de ART----- x gramas de etanol
 ou 64,75 mL de etanol a 20° C (densidade do etanol a 20° C = 0,78932)

Portanto, o rendimento ideal máximo que pode ser atingido é 51,11 %
 Contudo, na prática, o máximo que se atinge é **48,55 %**, ou seja, **95 %** do rendimento ideal



6.6 Fermentação alcoólica e rendimento fermentativo



- a) Calcule o rendimento de uma fermentação com as seguintes características:
- 1) Teor de açúcares redutores totais do mosto: 200 g/L;
 - 2) Teor de açúcares redutores totais residuais no vinho: 5 g/L
 - 3) Teor Teor alcoólico do vinho: 10 % (v/v)
 - 4) Tempo de fermentação: 10 horas
 - 5) Teor de inóculo: 3 % (m/m) de levedura desidratada viiva

Rendimento da fermentação:

Portanto, o rendimento ideal máximo que é?



10- CONSIDERAÇÕES FINAIS



- ✓ A matéria-prima para a produção de etanol deve apresentar açúcares fermentescíveis;
- ✓ O caldo para a produção de etanol precisa ser clarificado;
- ✓ O microrganismo mais utilizado no mundo para a produção de etanol é a levedura *Saccharomyces cerevisiae*;
- ✓ *As leveduras se multiplicam por brotamento e são microrganismos anaeróbios facultativos.*
- ✓ *O rendimento fermentativo de uma fermentação informa sobre o percentual de álcool produzido em relação ao máximo que poderia ser produzido. Em outras palavras, o rendimento é uma resposta de quão eficiente foi a fermentação.*



11 - Referências



- COOPERATIVA DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Centro de Tecnologia. Divisão industrial. **Destilação**. São Paulo, COPERSUCAR, 1987. 505p.
- 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.
- Perry, Robert H., 1924-1978; Green, Don W.; Perry's chemical engineers' handbook . 8th ed. / prepared by a staff of specialists under the editorial direction of editor-in-chief, Don W. Green, late editor, Robert H. Perry. New York : McGraw-Hill, 2008. 1108p.
- <http://www.simtec.com.br/simposio/index.htm>. Acesso em 22-09-2009.



11 - Referências



- 1- Bastos, Reinaldo Gaspar. Tecnologia das fermentações : fundamentos de bioprocessos / Reinaldo Gaspar Bastos. -- São Carlos : EdUFSCar, 2010. 162 p. -- (Coleção UAB-UFSCar);
- 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.



MUITO OBRIGADO PELA ATENÇÃO!!

Prof. Antonio Sampaio Baptista

e-mail: asbaptis@usp.br

Setor de Açúcar e Álcool

LAN/ESALQ/USP

