



**Universidade de São Paulo – USP**

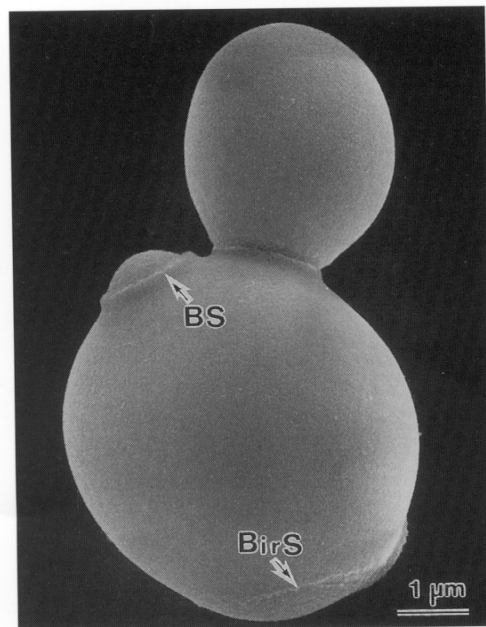


**Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Esalq**

Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição - LAN

**LAN 1458 – Açúcar e Álcool**

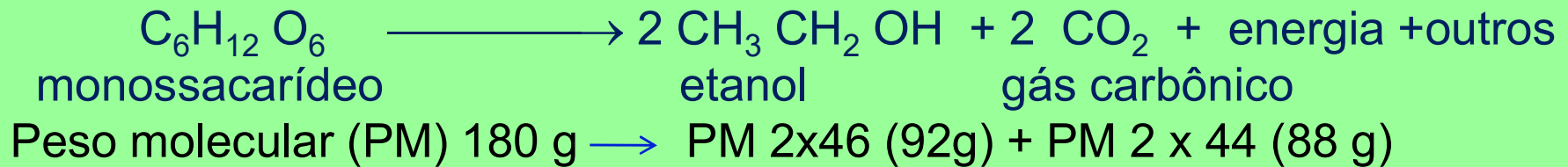
***Preparo do inóculo e Processos industriais  
de condução da fermentação***



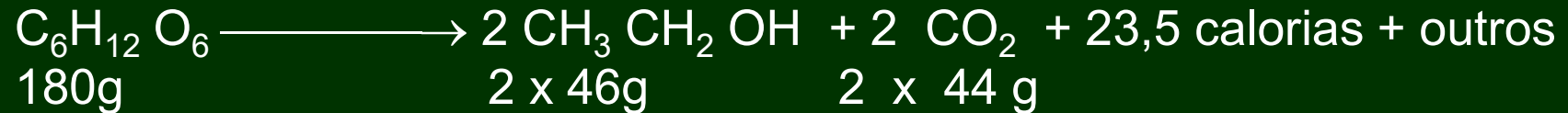
***Prof. Antonio Sampaio Baptista***

## Cálculo do rendimento da fermentação alcoólica

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

$x = 51,11 \text{ gramas} / 0,78932 \longrightarrow 64,75 \text{ mL de etanol a } 20^\circ \text{ C}$   
(densidade do etanol a  $20^\circ \text{ C} = 0,78932 \text{ g mL}^{-1}$ )

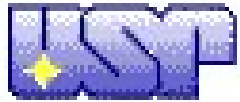
## Cálculo do rendimento da fermentação alcoólica

### 1 - Rendimento alcoólico de uma fermentação

a) 100 gramas de ART ----- 51,11 gramas de etanol → Rendimento = 100 %

b) 100 gramas de ART ----- 64,75 mL de etanol → Rendimento = 100 %

Exemplo: Em um processo de fermentação alcoólica, operando em batelada alimentada, com alimentação de mosto, contendo 160 gramas de ART L<sup>-1</sup>, nas dornas de fermentação, ao término da fermentação, 8 horas após o início processo, foi obtido vinho com teor alcoólico de 9,32 % (v v<sup>-1</sup>). Qual foi o rendimento dessa fermentação?



# PREPARO DO INÓCULO



# PREPARO DO INÓCULO PARA INICIAR A SAFRA



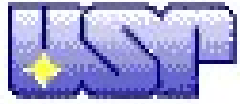
- ✓ Fermento Prensado
- ✓ Fermento Reaproveitado do Ciclo Anterior
- ✓ Fermento Selecionado (cultura pura)



# PREPARO DO INÓCULO



- **Fermento Prensado**
- Adaptação gradual (vem da panificação)
- Minimiza o tempo de partida - dita "partida direta".
- Inóculo: 20 a 25 g de fermento por litro de mosto (razão em massa de fermento após partida)
- Acúmulo gradual de conc. de fermento na dorna
- Condições requeridas: resfriamento do mosto (30 a 35 °C).



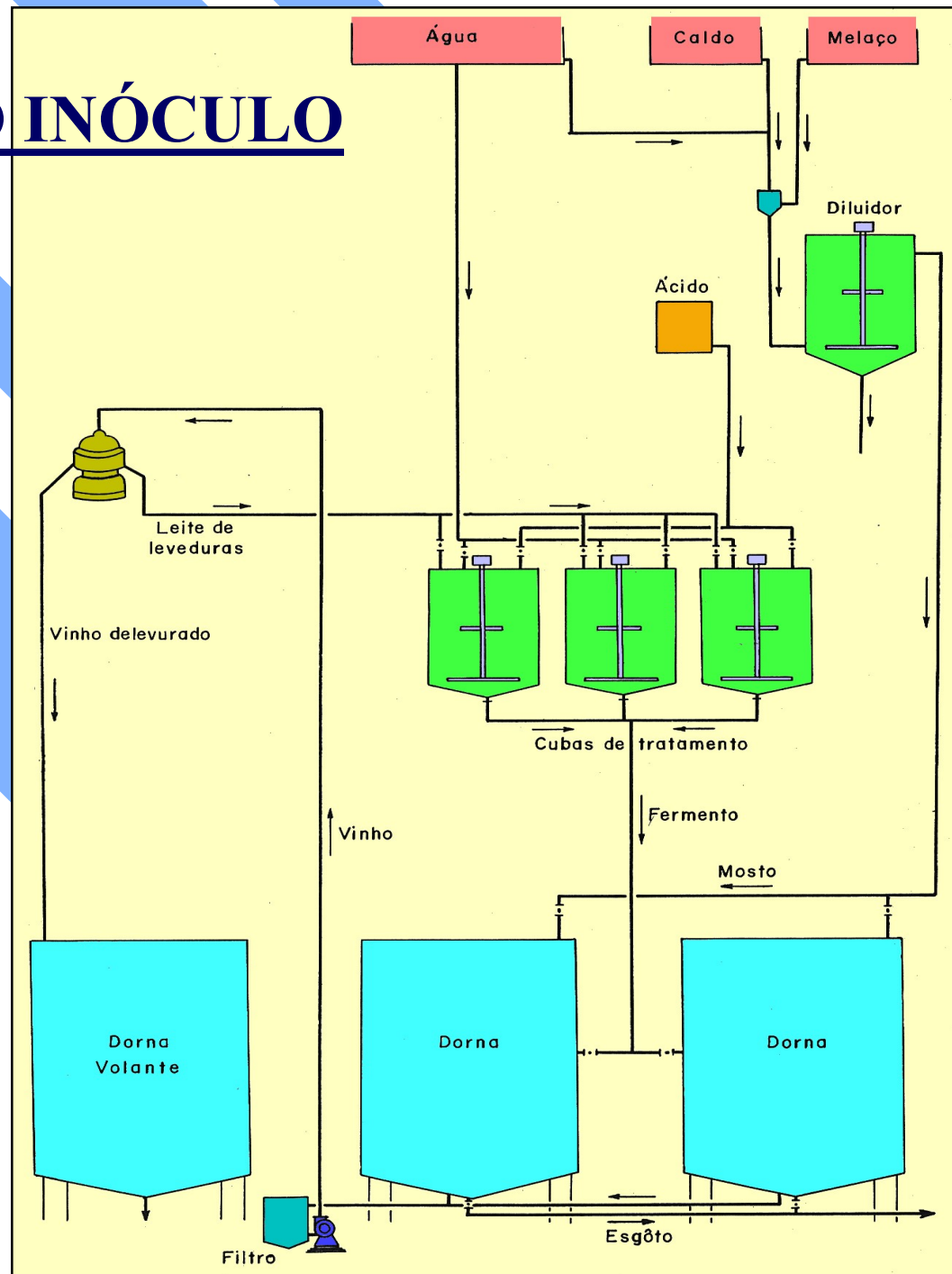
# PREPARO DO INÓCULO



- **Fermento Reciclado / Selecionado** (leite de levedura)
- Pressupõe-se a levedura habilitada do ciclo anterior;
- →  $10^8$  células de leveduras/mL
- → 25 a 28°C
- → pH: 3,5 a 4,2
- Aumento gradual do teor de açúcar

# PREPARO DO INÓCULO

- Processo de Melle-Boinot (década 30)
- Evolução:
- (1) Substituição do decantador por filtro de tela e centrifugação do fermento.
- (2) Diluição do melaço com caldo tratado.





## 6.2 Propagação do fermento selecionado

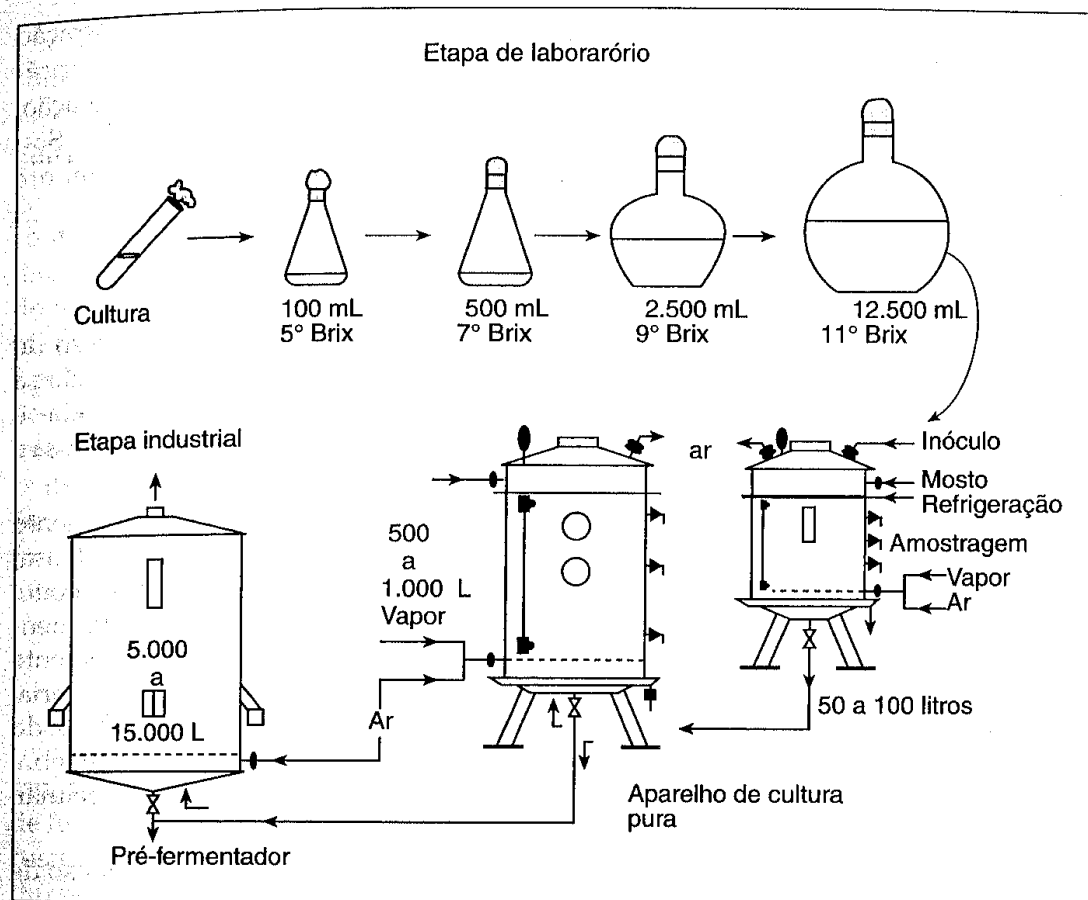


Figura 1.2 — Esquema da preparação do inóculo



# Processos industriais de condução da fermentação



## PROCESSOS FERMENTATIVOS INDUSTRIAIS

### Condução da fermentação

Uma vez preparado o fermento e o mosto, ambos são adicionados nas dornas de fermentação, ocasião em que as leveduras irão, de modo gradativo, converter os açúcares em gás carbônico e etanol.

A adição deve ser de modo contínuo até atingir o volume útil da dorna, sendo que a vazão de alimentação irá controlar o brix da mistura.



# Processos industriais de condução da fermentação



## Introdução

### ✓ Processos de condução da fermentação:

- Processos descontínuos:(batelada simples) ou batelada alimentada
- Processo contínuo.

### ✓ Reciclo de células:

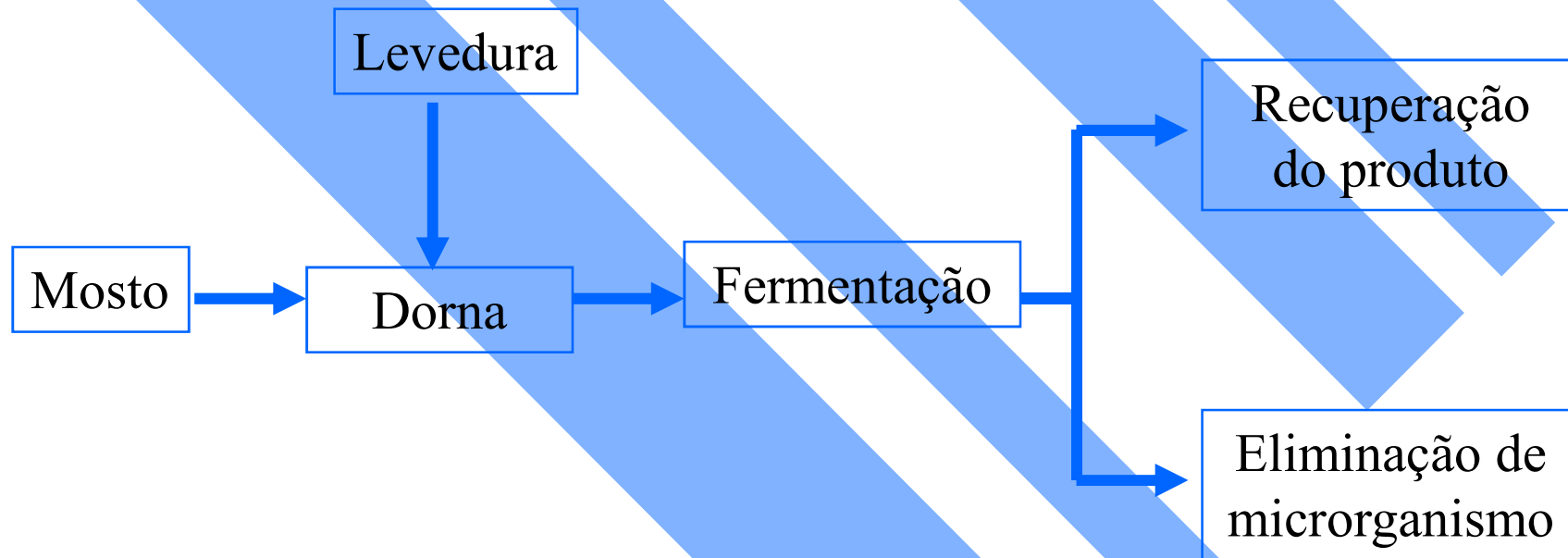
- Ambos os processos podem ser conduzidos com ou sem o reciclo de células.



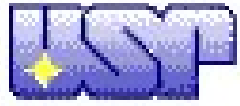
# Processos industriais de condução da fermentação



## ❖ Processo descontínuo sem reciclo de fermento



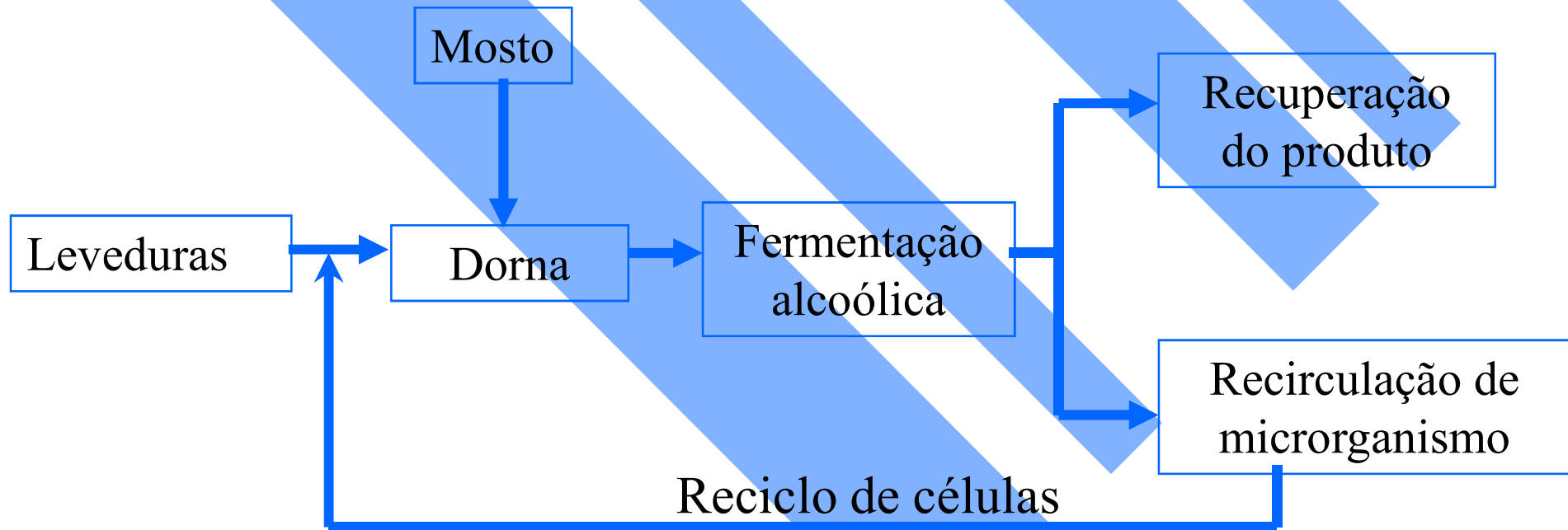
- ✓ Este processo é o mais seguro quando se tem problemas de manutenção das condições de assepsia ou se pretende recuperar as leveduras e outros subprodutos para outras finalidades, pois ao final de cada batelada imagina-se que o reator deverá ser esvaziado e elimina-se o pé-de-cuba. Na próxima fermentação, adiciona-se o novo mosto e um novo inóculo (pé-de-cuba) para realizar a fermentação.



# Processos industriais de condução da fermentação



Processo descontínuo com recirculação de células



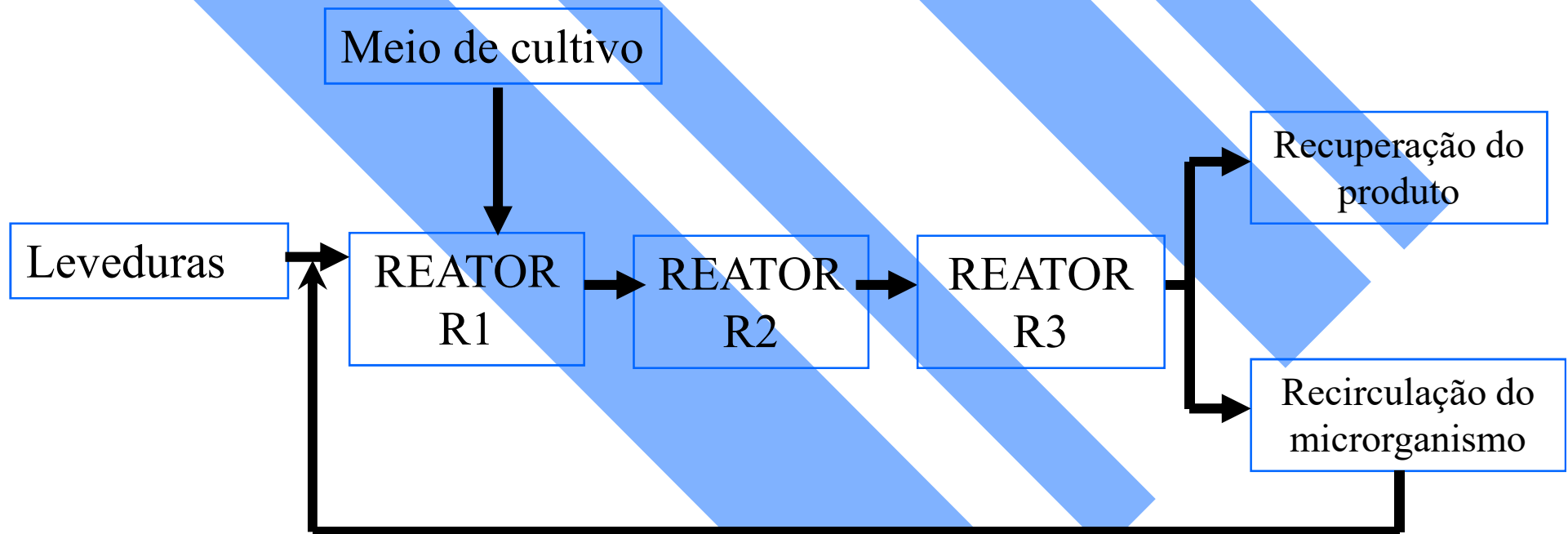
✓ Este processo também é chamado batelada com reciclo de células.



# Processos industriais de condução da fermentação



## Processo contínuo com recirculação de células



- ✓ Este processo é conduzido com o objetivo de aumentar a produtividade dos reatores



# Processos industriais de condução da fermentação



## ❖ Processo descontínuo alimentado “FED BATCH”

- ✓ É aquele no qual se imagina inicialmente introduzir o inóculo, o qual ocupará uma fração do volume útil do reator da ordem de 10 a 12 % (v/v).
- ✓ Neste caso, inicia-se a alimentação com o inóculo, empregando-se uma vazão adequada. Depois adiciona-se o mosto.
- ✓ Aguarda-se completar a fermentação e procede-se a retirada e recuperação do produto.

# Processos industriais de condução da fermentação

---

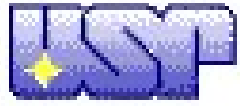
## ❖ Processo descontínuo alimentado “FED BATCH”

As células separadas retornam ao sistema a fim de se iniciar um novo período de alimentação, o que evita a necessidade de se preparar um novo inóculo.

Nota: a alimentação do reator com vazão constante não é obrigatória.

✓ Este sistema de condução da fermentação também permite uma grande flexibilidade operacional no uso do reator.



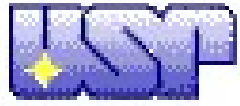


# Processos industriais de condução da fermentação



## PROCESSOS INDUSTRIAIS DA CONDUÇÃO DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA

- ✓ **Processos de fermentação em batelada alimentada;**
- ✓ **Processos de fermentação contínua;**



# Processos industriais de condução da fermentação



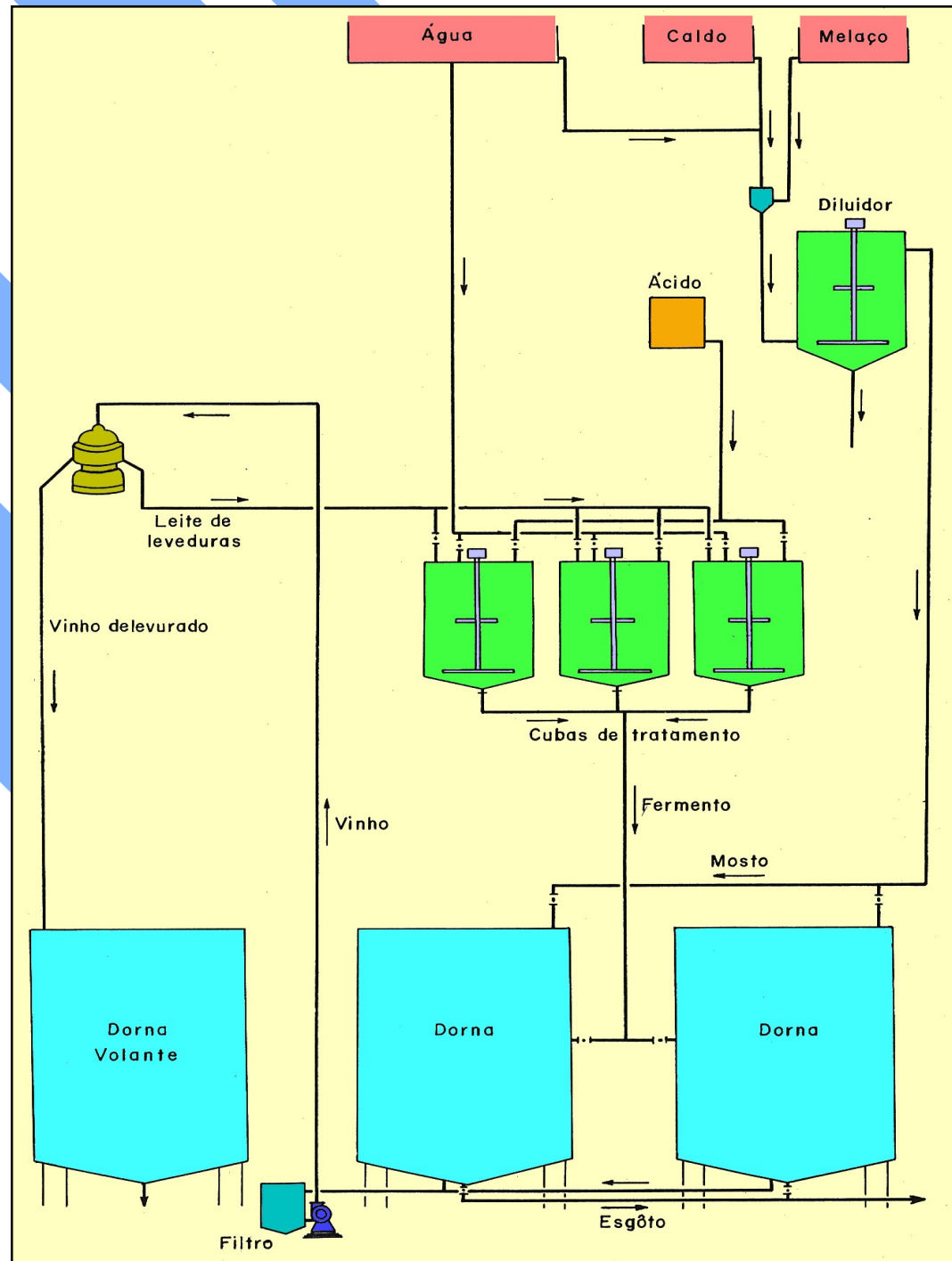
## Processos fermentativos para a condução da fermentação

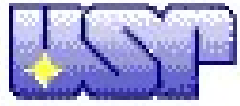
- Processos contínuos
  - Processos descontínuos
- } - com reciclo de células  
- sem reciclo de células

## BRASIL:

- Predomina processos de fermentação em batelada alimentada, com reciclo de células.
- Os processos contínuos de fermentação, existentes no país, também usam reciclo de células.

■ Processo de Melle-Boinot (década 30)



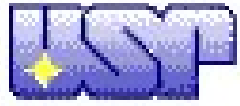


# Processos industriais de condução da fermentação



## Batelada Alimentada: Processo Melle-Boinot

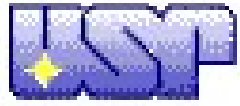
- (1) Alta eficiência na fermentação: conversão de açúcar em álcool (88 a 92 %);
- (2) Simplicidade, rapidez, alta pureza;
- (3) Produtividade : 7,5 g de etanol/L de vinho/h;
- (4) Menor consumo de insumos do que a contínua;
- (5) Melhor uso das dornas do que a batelada simples.



# Processos industriais de condução da fermentação



- *Cuidados técnicos:*
- 1) Teores alcoólicos no vinho de 8 a 10 %, com tempo de fermentação de 6 a 12 horas;
- 2) Adequado pré-tratamento do mosto – peneiragem / caleagem (pH-5,6 a 5,8) / aquecimento/ decantação/ resfriamento;
- 3) Assepsia de processo e de tubulações (moenda até dorna);



# Processos industriais de condução da fermentação



- **CUIDADOS TÉCNICOS:**
- 4) Tempo de tratamento ácido do fermento - 2 a 3 h e pH na faixa de 2,5 -2,8 (controle de contaminantes);
- 5) Contaminação intensa na fermentação apenas o tratamento ácido e uma centrifugação podem não ser suficientes. Há casos de haver necessidade do uso de antibiótico após a centrifugação ou até eventualmente uma nova centrifugação.



## 3.2. PROCESSOS CONTÍNUOS

Pesquisa: 45 a 55 anos  
Indústria: 35 anos

Cuidados  
e  
conceitos  
técnicos

- 1) Adaptação das atuais dornas (batelada) unidas por tubulações saindo do fundo p/ cima da seguinte.
- 2) 1<sup>as</sup> dornas executam 70% da fermentação e as últimas como segurança (evitar perdas de ART);
- 3) Resfriamento do mosto - trocadores de calor a placa, externos à dorna e também agitação por circulação forçada na lateral ao fundo;



## 3.2. PROCESSOS CONTÍNUOS

Cuidados  
e  
conceitos  
técnicos

- 4) Recirculação do fermento tratado c/ abaixamento de pH em cascata (controle de infecção);
- 5) Conhecimentos cinéticos da fermentação p/ otimização e redução do volume e tempo;
- 6) Evitar acúmulo de sólidos, c/ formação de grandes depósitos;



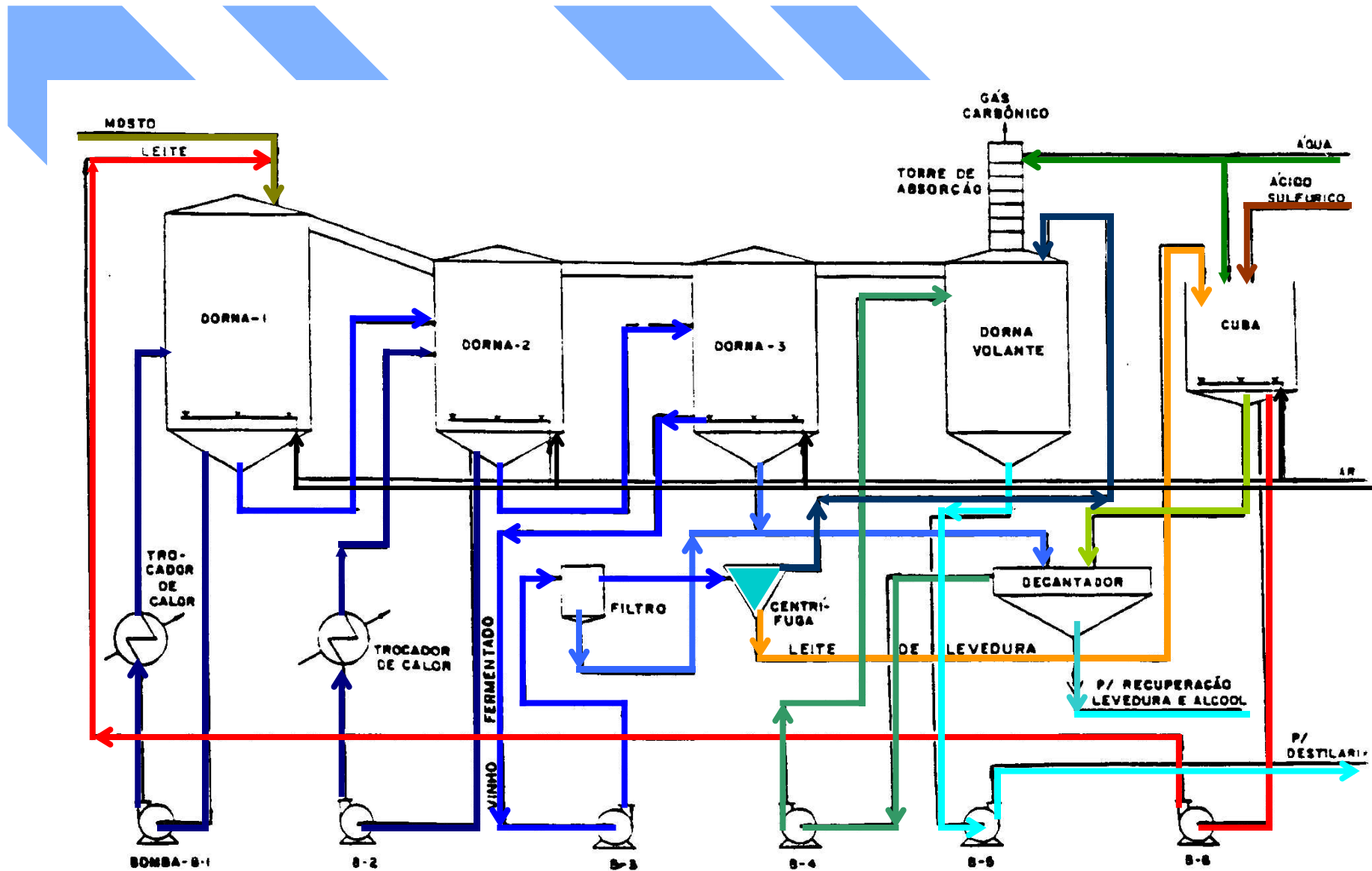


Figura 4 - Fluxograma do processo de fermentação contínua



## 3.2. PROCESSOS CONTÍNUOS



### Vantagens dos processos contínuos

- **Rendimento industrial igual ao Melle-Boinot;**
- **Maior produtividade do que a batelada alimentada;**
- **Menor volume de dornas, redução dos equipamentos em geral;**
- **Amplas possibilidades de automação ou grande parte automatizadas e informatizadas;**



## 3.2. PROCESSOS CONTÍNUOS



### Vantagens dos processos contínuos

- Redução ampla de operações como limpeza, enchimento, esvaziamento, transferência de fermento, resultando em redução de mão-de-obra e tempo de operação;
- É um avanço tecnológico.



# Processos industriais de condução da fermentação



## 3.2. PROCESSOS CONTÍNUOS

### Desvantagens do processo contínuo

✓ O processo exige uma indústria que possua um adequado sistema de tratamento de caldo para a destilaria ou que trabalhe apenas com diluição de xarope e méis para garantir a homogeneidade de mosto, uma vez que o processo possui dimensionamento crítico e adapta-se à faixas estreitas de variações de mosto;



# Processos industriais de condução da fermentação



## 3.2. PROCESSOS CONTÍNUOS

### Desvantagens do processo contínuo

- ✓ *Exige um bom gerenciamento dos processos e sistemas anteriores a fermentação para que possam manter fluxos e qualidade estáveis ao processo.*



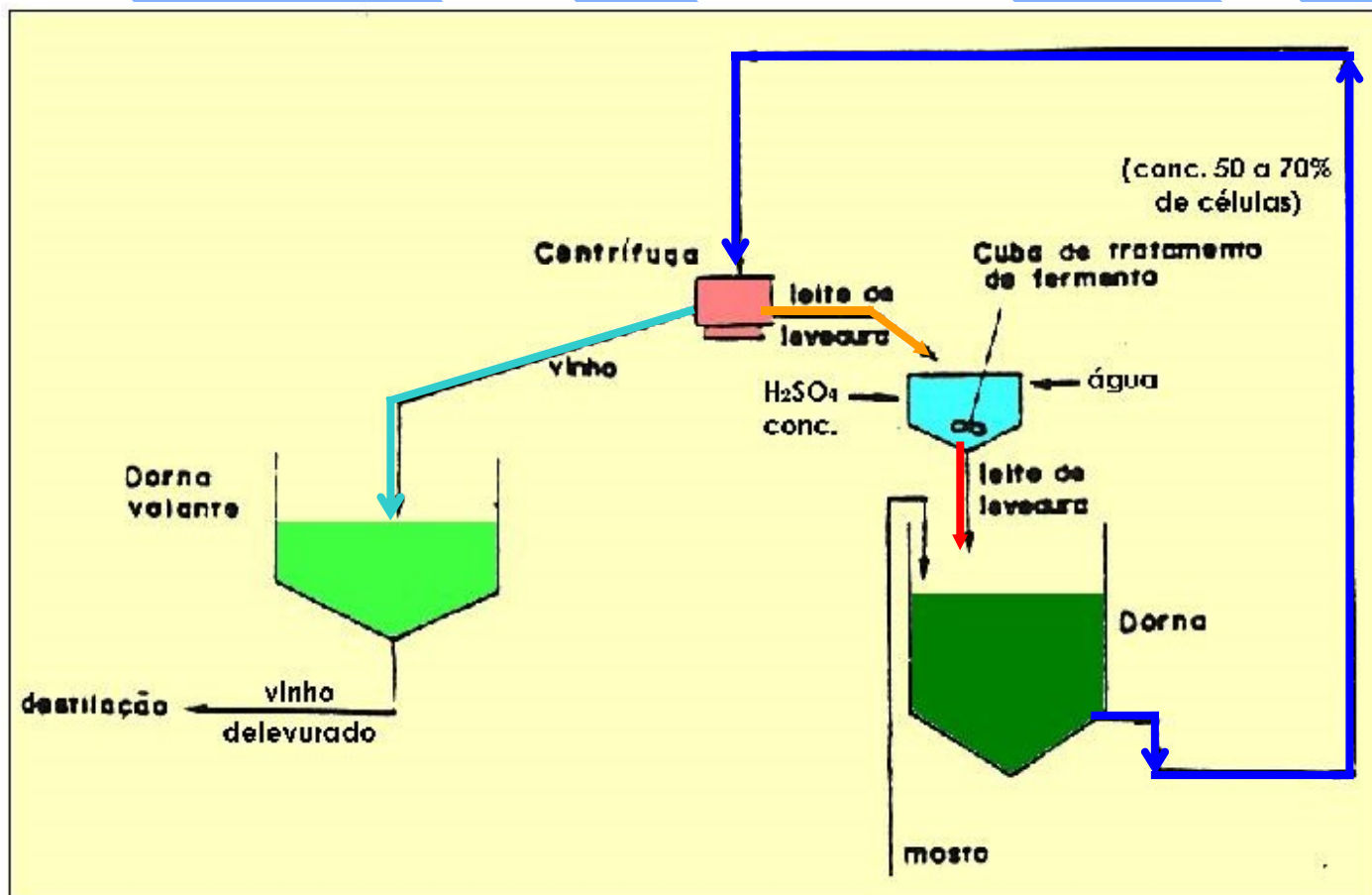




# Processos industriais de condução da fermentação



## 3.3. RECUPERAÇÃO DO FERMENTO



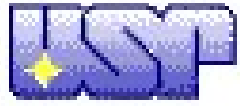


**Microrganismos: 0,5 a 20  $\mu\text{m}$ .**  
Será que entram por esta  
abertura “tão pequena” ??!



Centrifuga separadora do levedo do vinho  
- saída do vinho por pressão pelo centro superior -





# Processos industriais de condução da fermentação



## 3.3. RECUPERAÇÃO DO FERMENTO

### Tratamento ácido:

✓ Diluição do leite de levedura com água (proporção – 1:1), homogeneização e adição de ácido sulfúrico (pH 2,5 a 2,8). Tempo de exposição de 2 a 3 horas.

### Efeitos do tratamento ácido

- 1) Latência de bactérias lácticas.
- 2) Redução de contaminantes.
- 3) Limpeza química da superfície celular das leveduras.
- 4) Reduz a contaminação bacteriana pelo abaixamento de pH.



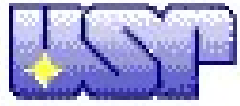
# Processos industriais de condução da fermentação



## 3.3. Recuperação do Fermento

### Vantagens:

- 1) Elevado rendimento alcoólico na fermentação;
- 2) Maior rapidez de fermentação pelo maior teor de levedo recuperado;
- 3) Facilita a obtenção de etanol de melhor qualidade;
- 4) Diminuição das incrustações nos aparelhos de destilação.

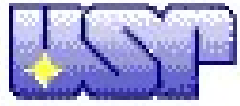


# Processos industriais de condução da fermentação



## 3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- ✓ A produção de etanol por via fermentativa é feita exclusivamente com uso de leveduras, da espécie *Saccharomyces cerevisiae*;
- ✓ O teor de açúcar no mosto é muito importante para definir a rota metabólica de degradação do açúcar adotada pela levedura;
- ✓ O preparo do fermento pode ser feito de três formas: cultura pura, fermento prensado e aproveitamento de ciclos de outros processos. Esta prática deve anteceder o início da colheita a cana de 7 a 30 dias.

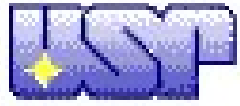


# Processos industriais de condução da fermentação



## 3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- ✓ Após o preparo do inóculo e do mosto se procede a condução da fermentação. Este processo para a produção de etanol, em geral, é realizado em batelada alimentada ou em processo contínuo;
- ✓ O processo de fermentação em batelada alimentada é o mais usado na indústria de etanol brasileira;

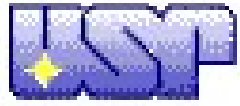


# Processos industriais de condução da fermentação



## 3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- ✓ No futuro, com a melhoria do padrão tecnológico das usinas, espera-se que a fermentação contínua ganhe mais espaço nas usinas do Brasil;
- ✓ O tratamento ácido é importante porque pode garantir o reciclo das leveduras com baixa taxa de contaminação e permite melhorar a produtividade na indústria.



# Processos industriais de condução da fermentação



## Referências

- 1 - PAYNE, J.H. **Operações unitárias na produção de cana-de-açúcar.** São Paulo: NOBEL, 1989. 245p.
- 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 - BORZANI, W., SCHIMIDELL, W., LIMA, U.A., AQUARONE, E. **Biotechnologia Industrial.** Edgard Blücher: São Paulo, 2001. 540p. vol.II.
- 5 - COPERSUCAR. Centro de Tecnologia. **Divisão Industrial - Fermentação.** 434p., 1987.
- 6 - ROSE, A.H. & HARRISON, J.S. **The yeasts.** 2 nd ed. Academic Press, London, 1987, vol. 2 nd. 309 p.