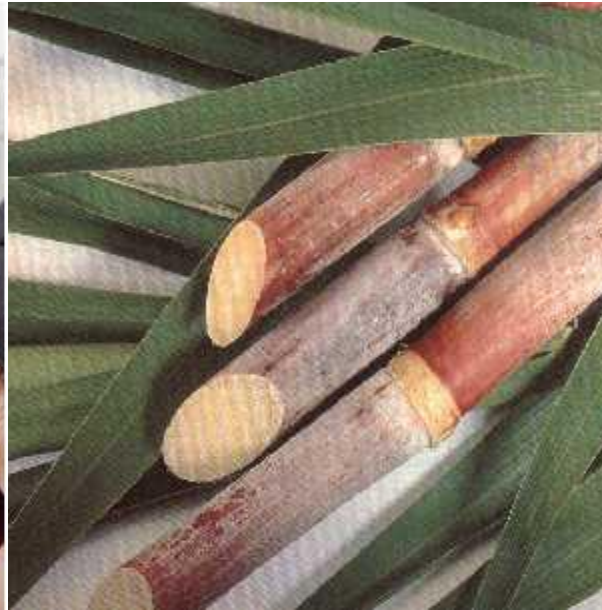


*Álcool Combustível*



# Tecnologia da Fabricação do Etanol

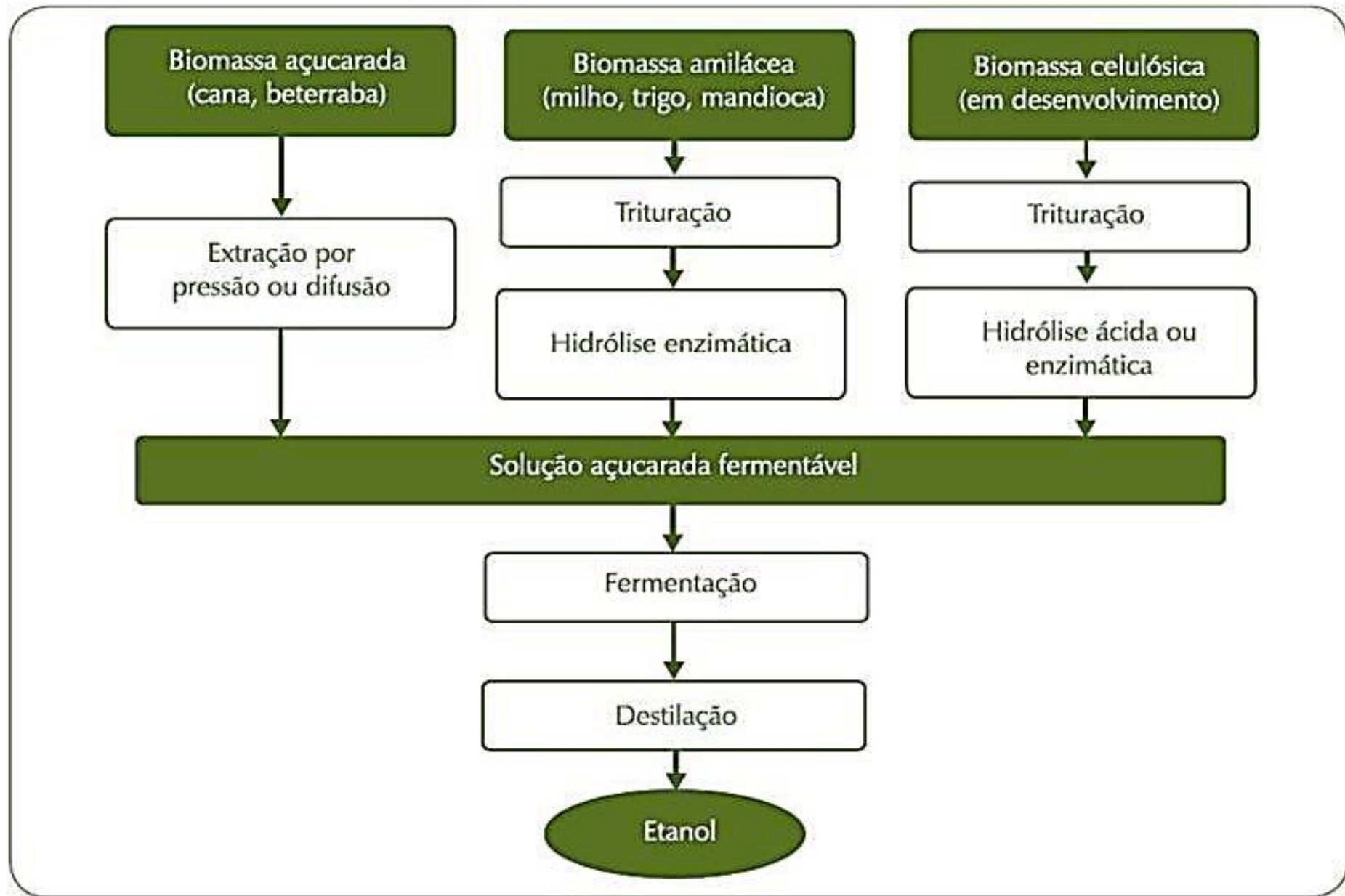


# Matérias prima e preparo do mosto para produção de etanol

# A. Matéria prima e preparo do mosto

3

- Sacarinas
- Amiláceas
- Celulósicas



Fonte: Elaboração de Luiz Augusto Horta Nogueira.



## Mandioca (*Manihot esculenta*)

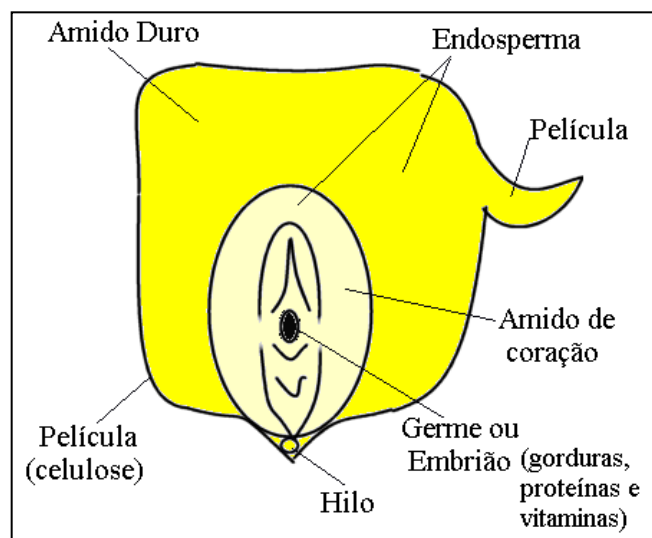
Componentes	Película parda %	Entre casca %	Cilindro central %	Raiz total %
Água	60 – 70 %	70 – 80	60 – 70	60 – 70
Fécula	—	15 – 20	25 – 35	18 – 35
Açúcares	—	0,1 – 0,5	—	—
Celulose	13 – 18	1,0 – 2,0	0,2 – 0,5	0,3 – 1,5
Proteínas	1,3 – 1,8	1,5 – 2,0	0,4 – 0,7	0,5 – 1,5
Mat. Graxas	1,5 – 2,0	0,2 – 0,4	0,1 – 0,2	0,1 – 0,3
Cinzas	2,0 – 3,0	0,7 – 1,0	0,5 – 0,8	0,5 – 1,2
Não dosadas	1,0 – 2,0	2,3 – 2,8	0,1 – 0,2	0,5 – 1,0



# Milho

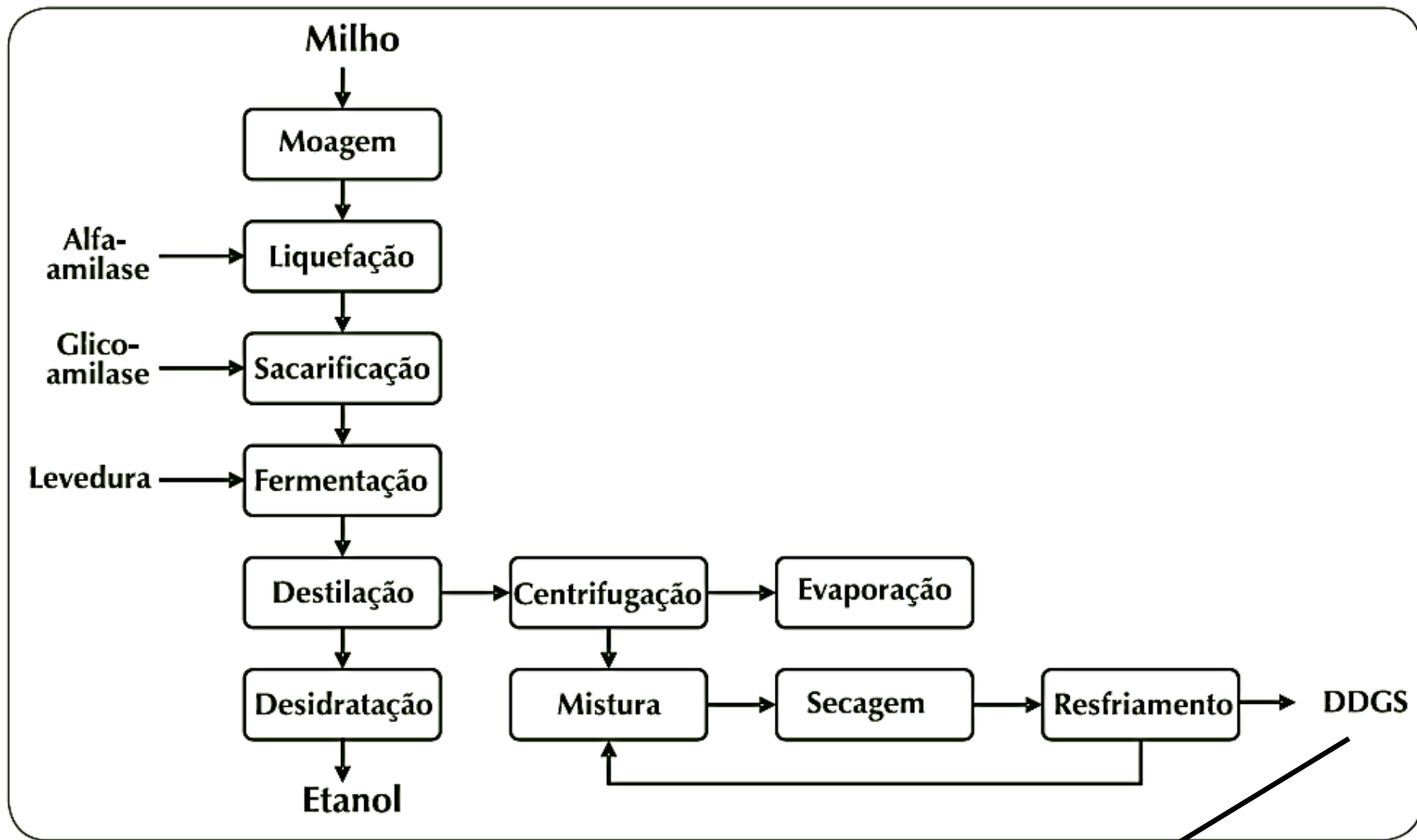
(*Zea mays*)

Elemento	Porcentagem
Água	10,5 (9,2 – 15,4)
Sólidos Totais	89,5 (78 – 96)
Carboidratos totais	70,5 (60 – 78)
Amido	66,5 (56 – 78)
Fibras totais	2,5 (2 – 4)
Matéria Nitrogenadas (zeína)	11,0 (6 – 12)
Matéria graxa	4,0 (3,0 – 6,0)
Celulose	3,0 (1,0 – 8,5)
Cinzas, %	1,5 (1,0 – 2,5)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,3
K <sub>2</sub> O	0,3
MgO	0,11
CaO	0,02
Vitaminas A, B1, B2 e E	Variável



Fonte: Watson (1987), Johnson (1991), Hosney (1986) e Embrapa Milho e Sorgo (2000).

**Figura 14 – Diagrama de fluxo do processo via seca para a produção de bioetanol de milho**



Fonte: Wyman (1996).

Dried Distillers Grains with Solubles

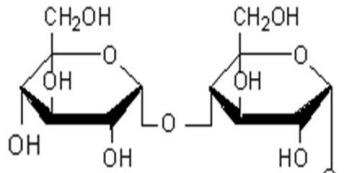
# Tratamento da matéria prima

Amido

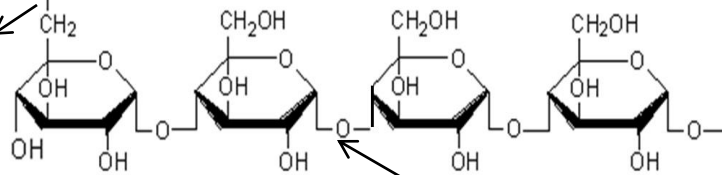
75%

Amilopectina

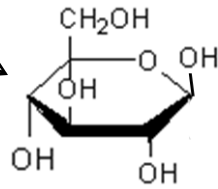
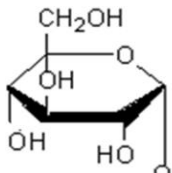
Polímeros ligados por pontes glicosídicas  $\alpha$ -1,4, com aproximadamente, 4% de  $\alpha$ -1,6, dando a ela a estrutura ramificada.



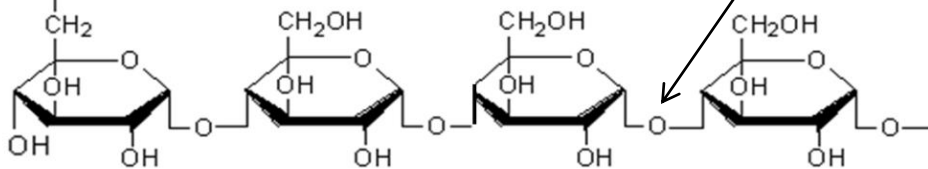
Amiloglucosidase terminal



Amiloglucosidase



$\alpha$ -amilase



Suspensão de farelo + água (12% de amido)



$\leftarrow$   $\alpha$ -amilase

pH 5,6 e aquecimento gradual até 45 °C



1 hora com agitação



Aquecimento gradual até 90 °C



1 hora com agitação



Resfriamento até 60 °C



Ajuste de pH a 4,5



$\leftarrow$  amiloglucosidase

24 horas/60 °C com agitação



Filtragem e prensagem



Resíduo fibroso final    Hidrolisado





## Trigo (*Triticum aestivum*)

Ocupa o primeiro lugar em volume de produção mundial. No Brasil, a produção anual oscila entre 5 e 6 milhões de toneladas.

Proteína bruta	7 – 18%
Amido	60 – 68%
Umidade	8 – 18%
Extrato etéreo	1,5 – 2%
Minerais	1,5 – 2 %
Celulose	2 – 2,5%

*Lima, 2010 Matérias- primas dos alimentos*



## Cevada (*Hordeum vulgare*)

- 4º cereal mais colhido no mundo
- Sacarificação → enzimas do malte (mosturação)

Composição da semente de cevada e do cereal moído

Sementes	Cevada
Farinha	70,05
Cascas	18,75
Umidade	11,2
	100,0
Farinha	
Amido	67,18
Matéria fibrosa (glúten, amido e lignina)	7,29
Gomas	4,62
Glúten	3,52
Albumina	1,15
Fosfato de cálcio com albumina	0,24
Umidade	9,37
Perdas	1,49
	100,00

## A.2 Matérias-primas sacarinas

11

- **Beterraba açucareira**



### 1 Composição centesimal de raiz de beterraba açucareira

Componente	Mínimo	Máximo	Média
Umidade	78	82	80,5
Matéria seca	17	21	19,5
Cinza	0,9	1,25	1,13
Fibra e celulose	1,52	2,2	1,90
Matéria graxa	0,28	0,47	0,30
Açúcares	12,5	16,7	14,5
Material nitrogenado	1,11	2,6	1,32
Nitrogênio	0,178	0,41	0,26

Fonte: HORSIN-DÉON, 1900.

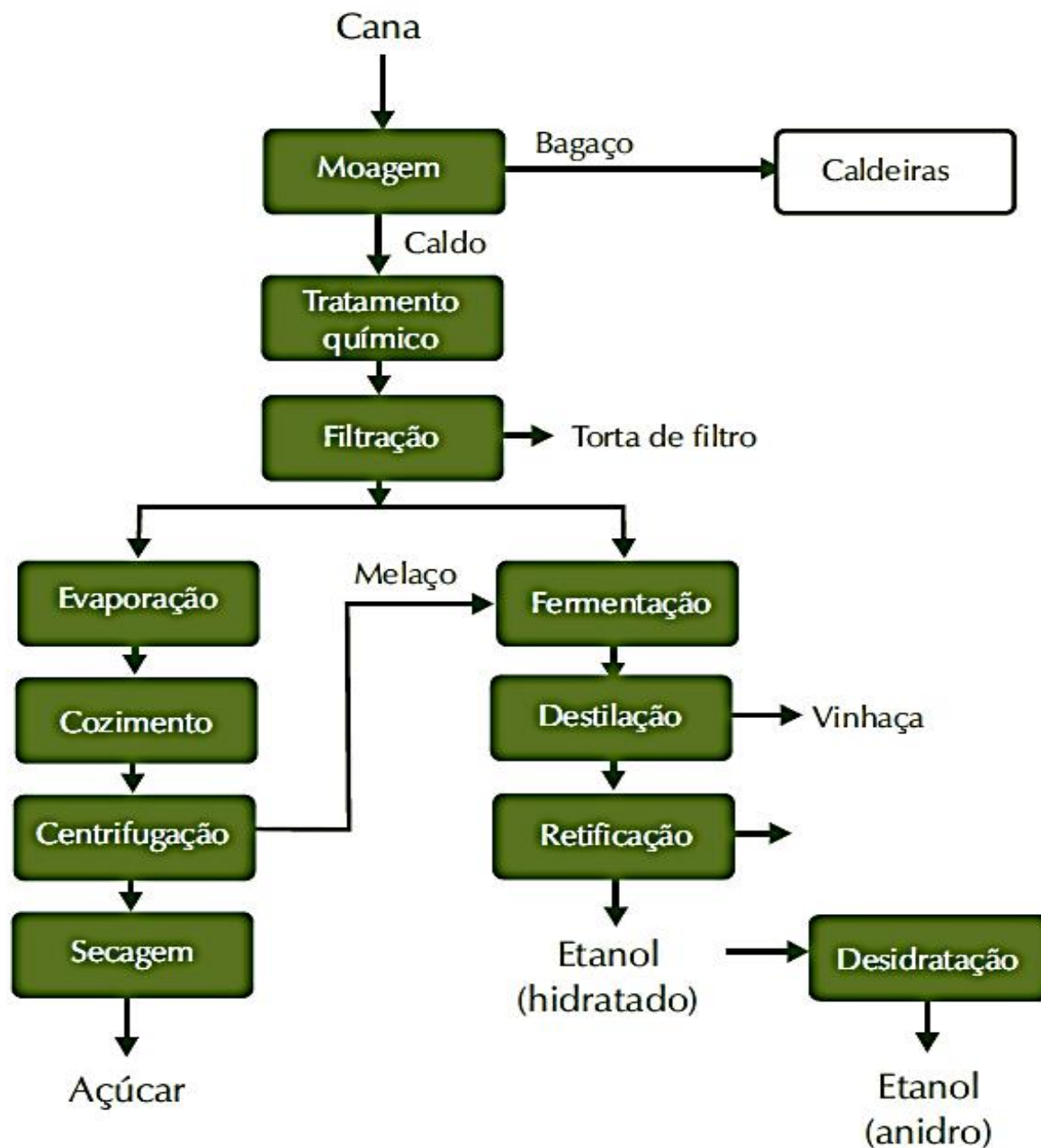
# Matérias-primas sacarinas

12

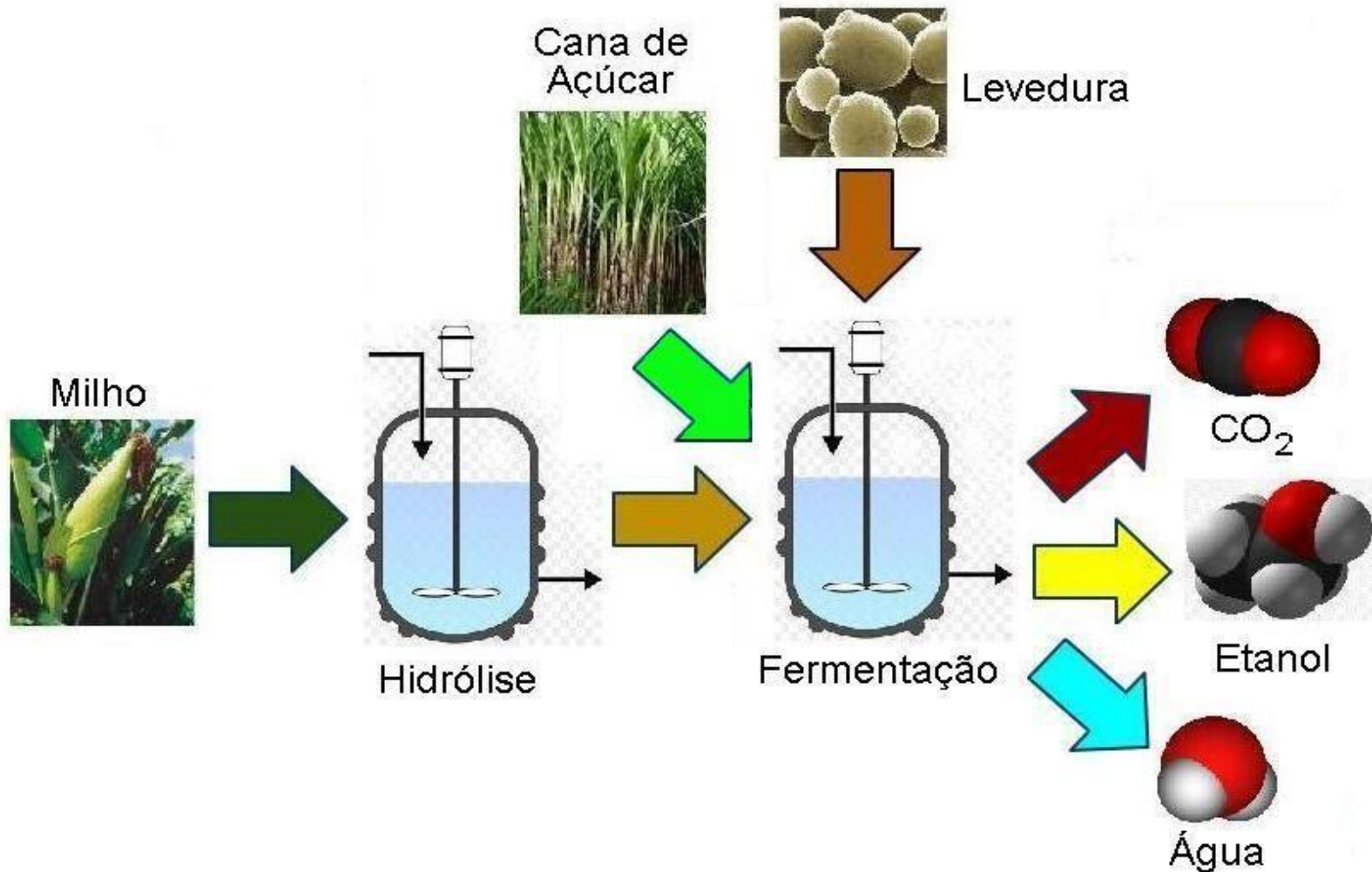
- Cana-de-açúcar



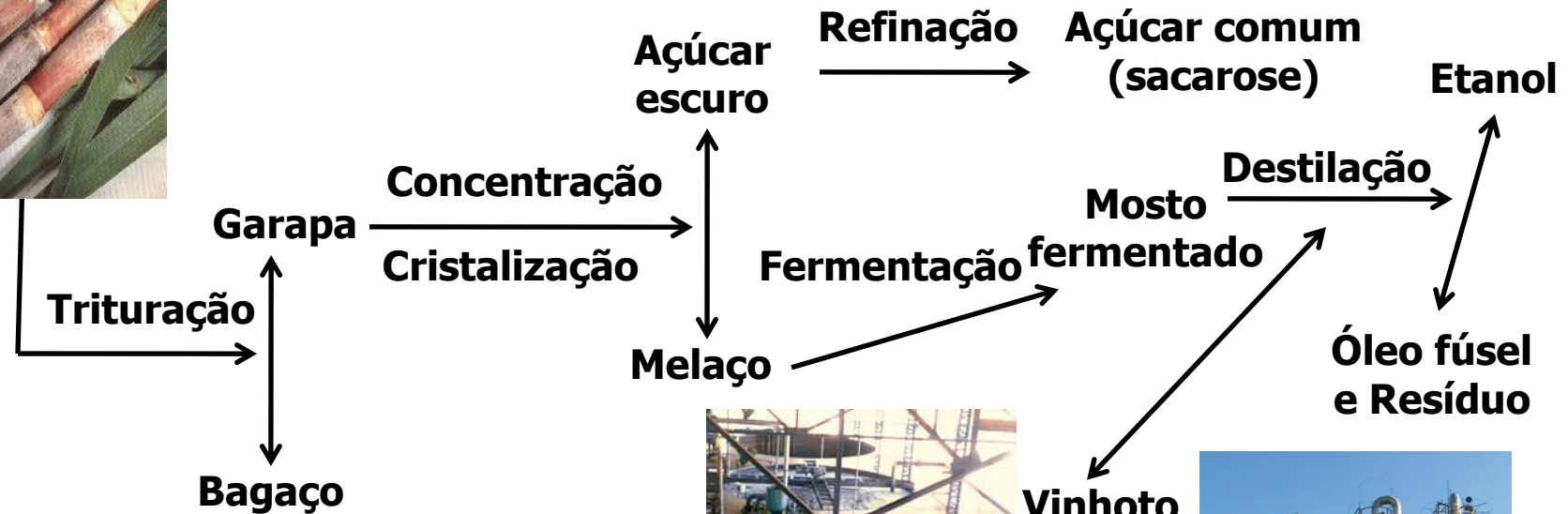
Elementos		Valores (%)
		Médio
Água, %	69 – 75 Variação (1)	74
Açúcares, %	12 – 20	13,5
Sacarose, %	11 – 18	12,2
Glicose, %	0,2 – 1	0,70
Levulose, %	0,2 - 0,5	0,40
Fibra, %	11 - 13	12,5
Celulose, %	6 – 8	6,88
Lignina, %	2 – 3	2,50
Pentosana ( xilana), %	2 – 3	2,50
Goma ( arabana), %	0,4 – 0,7	0,62
Cinzas, %	0,35 – 0,8	0,65
SiO <sub>2</sub> , mg.Kg <sup>-1</sup>		0,33
K <sub>2</sub> O, mg.Kg <sup>-1</sup>	1200 - 2500	0,16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , mg.Kg <sup>-1</sup>	60 – 300	0,09
CaO, mg.Kg <sup>-1</sup>	100 – 350	0,03
SO <sub>3</sub> , mg.Kg <sup>-1</sup>	120 – 300	0,03
N, mg.Kg <sup>-1</sup>	200 – 600	0,01
MgO, mg.Kg <sup>-1</sup>	44 - 200	0,01
Matéria Nitrogenadas, mg. Kg <sup>-1</sup>	200 - 600	0,40
Aminoácidos (como ác. Aspático), %	0,10 a 0,30	0,20
Albuminóides, %	0,07 a 0,15	0,12
Amidas, %	0,03 a 0,11	0,07
Gorduras e Ceras, mg. Kg <sup>-1</sup>	150 - 350	250
Substâncias pécticas, gomas e mucilagem	150 - 250	200
Ácidos Orgânicos, mg. Kg <sup>-1</sup>	100 – 550	150



# Biocombustíveis de Primeira Geração



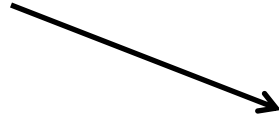
# Álcool a partir da cana de açúcar





# Produção de etanol acoplada a de açúcar

1000 Kg de  
cana de açúcar



90 Kg de açúcar



70 L de álcool e  
910 L de vinhoto



12 L de álcool e  
156 L de vinhoto



**Produção de etanol: 28,1 bilhões de litros.**

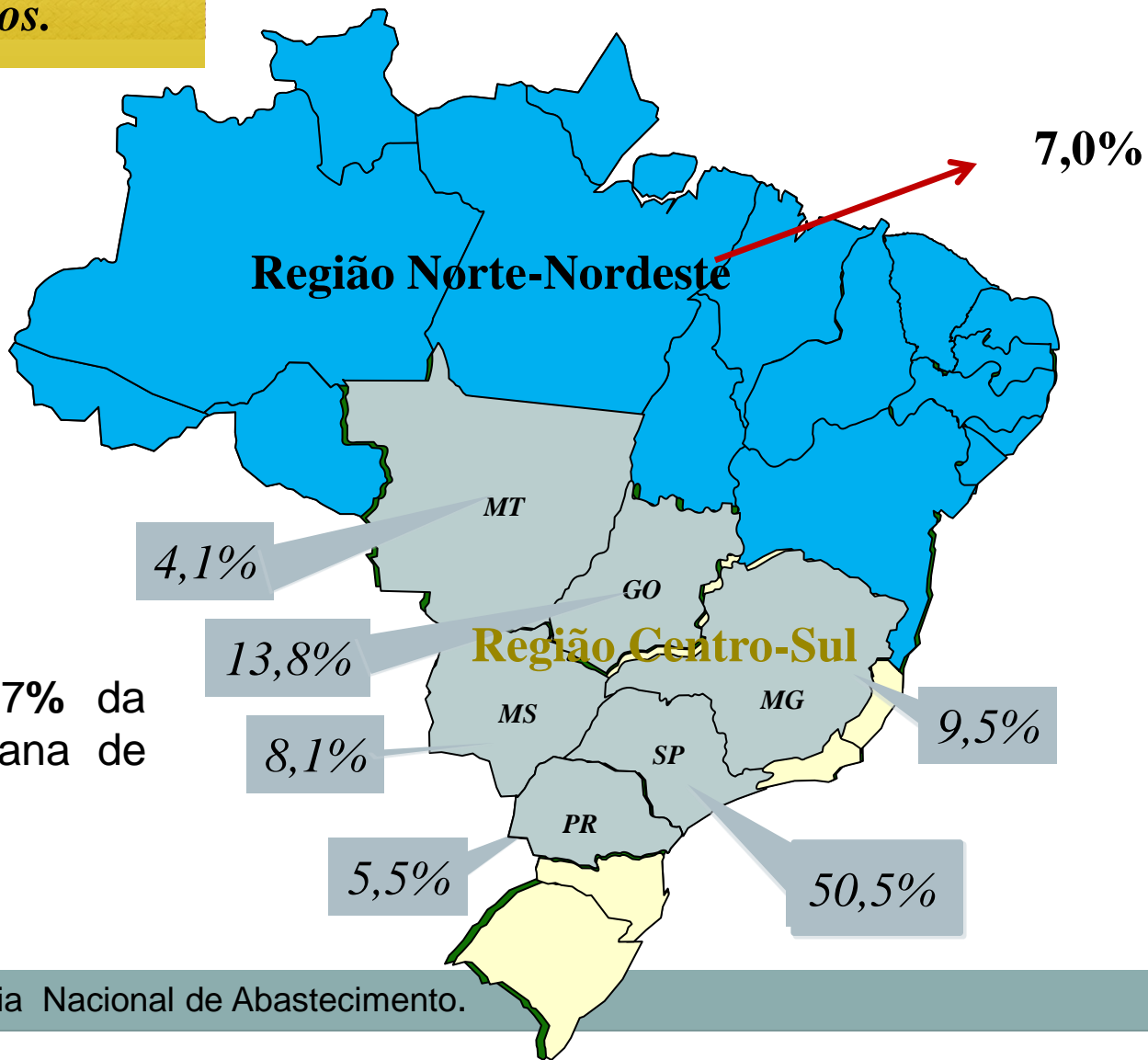
**Safra 2014/15**

☐ Álcool hidratado: **16,6 bilhões.**

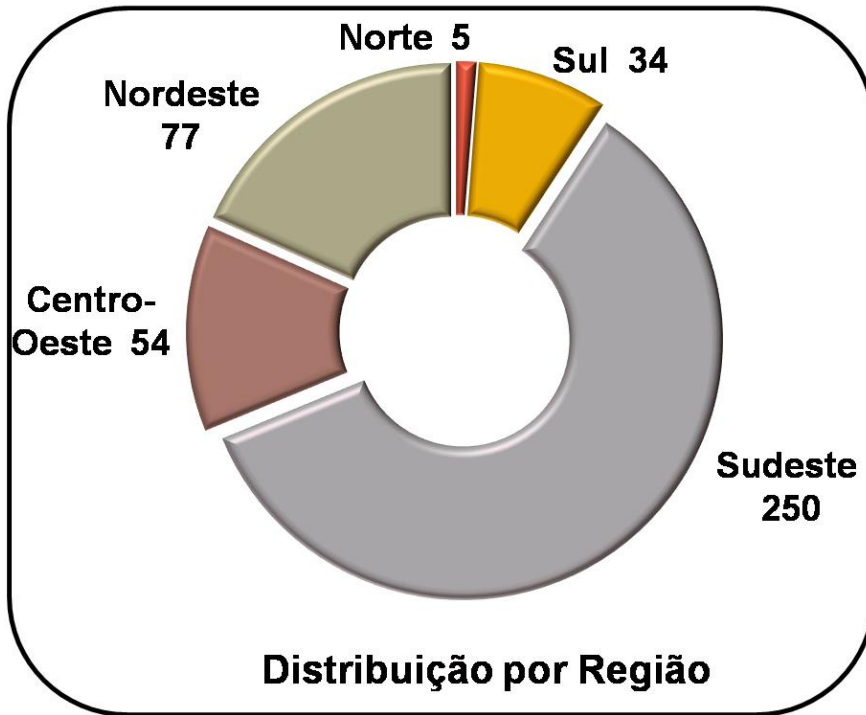
☐ Álcool anidro: **11,6 bilhões.**

☐ Região Centro-Sul = **93%.**

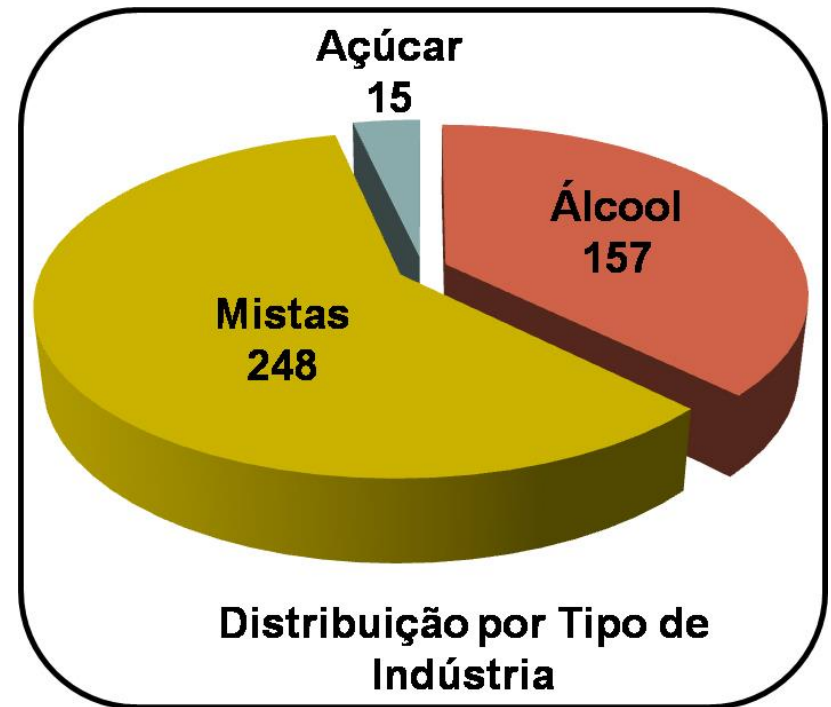
☐ Matéria prima: **57%** da área plantada de cana de açúcar.



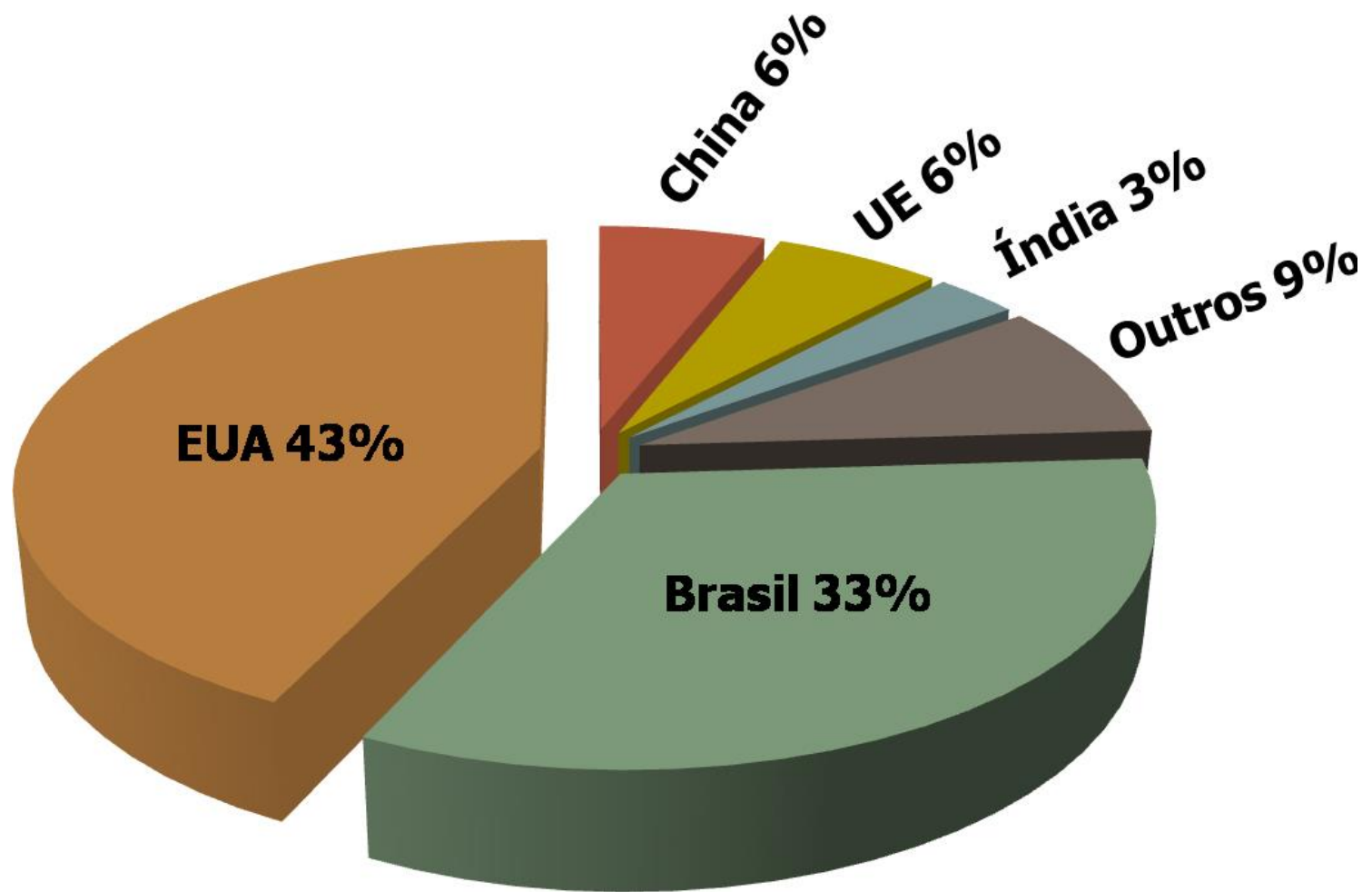
# Usinas no Brasil



Fonte: MAPA



## Divisão mundial na produção de etanol



# TRATAMENTOS INICIAIS

21

## PREPARO DO MOSTO

# B. PREPARO DO MOSTO

22

- Líquido açucarado passível de ser fermentado
- Cuidados:
  - Concentração de açúcares totais
  - Acidez total e pH
  - Suplementação com nutrientes

# Mosto

23

- Condições ótimas:
  - temperatura, pH, nível de oxigênio dissolvido, etc.
- fontes dos elementos “principais”
  - C, H, O, N
- fontes dos elementos “secundários”
  - P, K, S, Mg
- vitaminas
- fontes de elementos “traços” (quantidades mínimas)
  - Ex. Ca, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, etc.

# Agentes da fermentação

24

## alcoólica

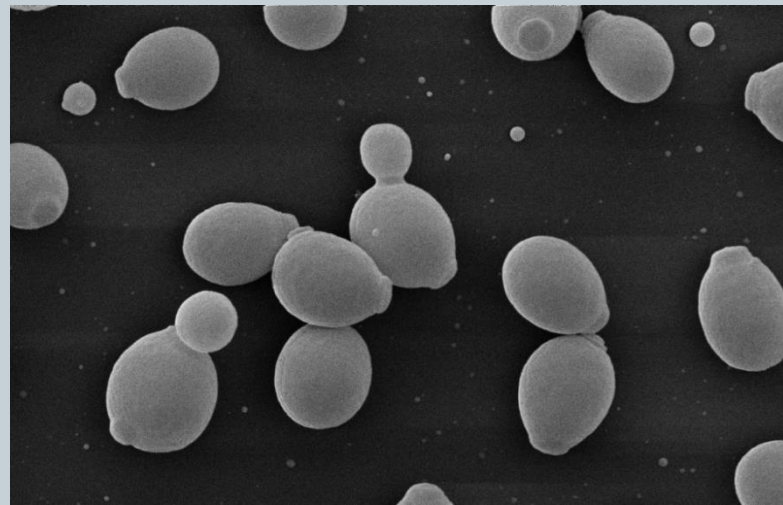
ESALQ / USP



# MORFOLOGIA DAS LEVEDURAS

25

- leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*) → unicelulares, frequentemente ovais, arredondadas e as elípticas.
  - Comprimento: 5 - 16 micra
  - largura: 3 - 7 micra



# CITOLOGIA

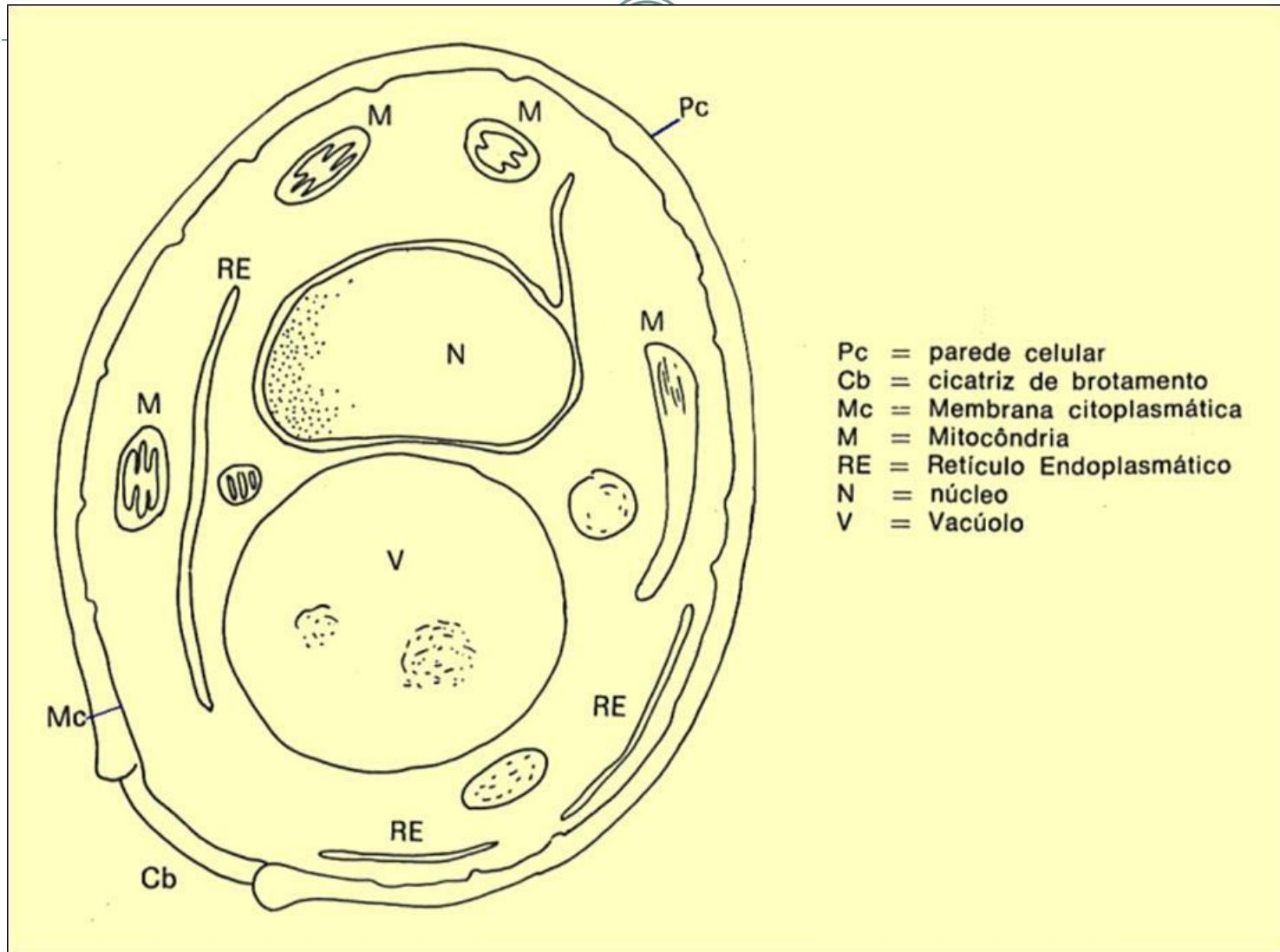
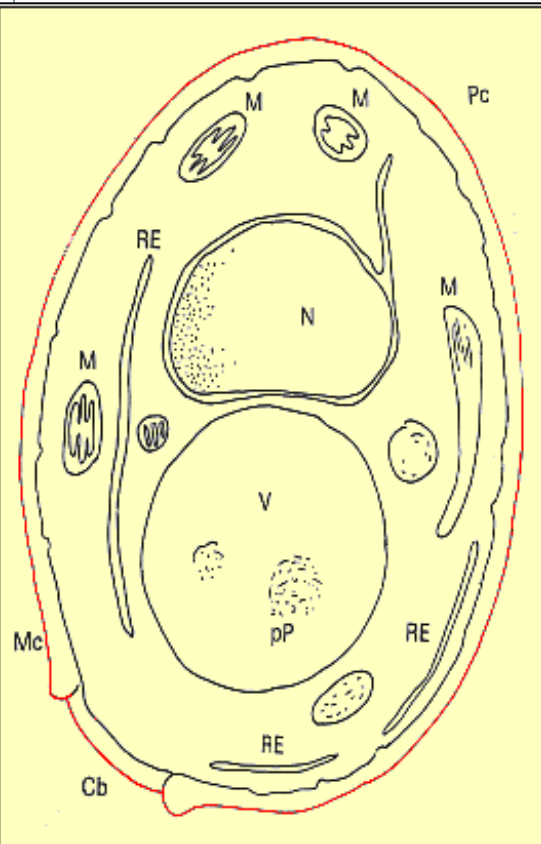


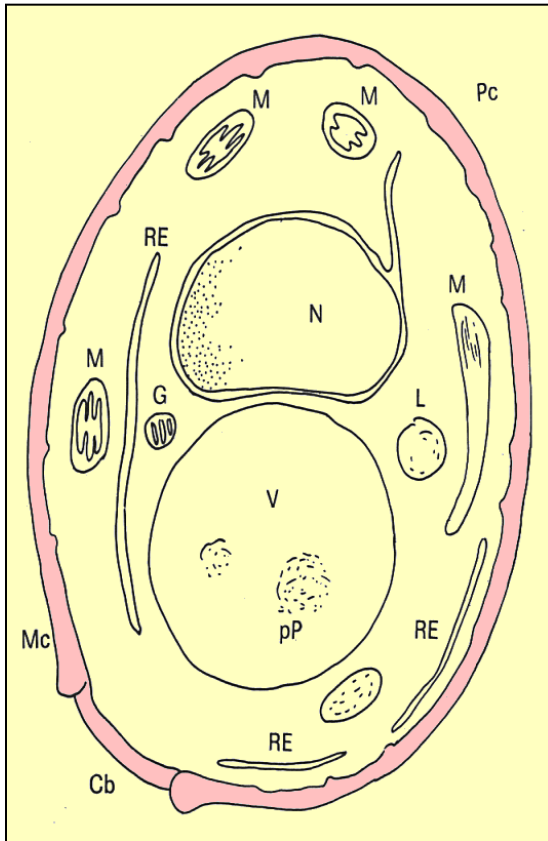
Diagrama de uma célula de *S. cerevisiae*

## (1) Parede celular

- Enzimas Extracelulares: invertase (translocação e desdobramento das fontes para utilização pelo citoplasma).



## (2) Membrana citoplasmática ou plasmalema



- Integridade e estabilidade
- Permeabilidade seletiva (controle de translocação de compostos do meio externo ao interior da célula e vice-versa).

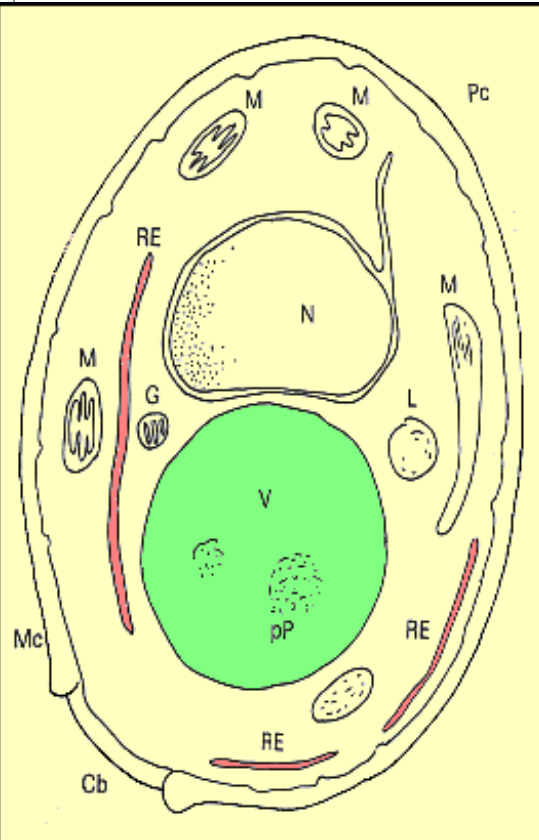


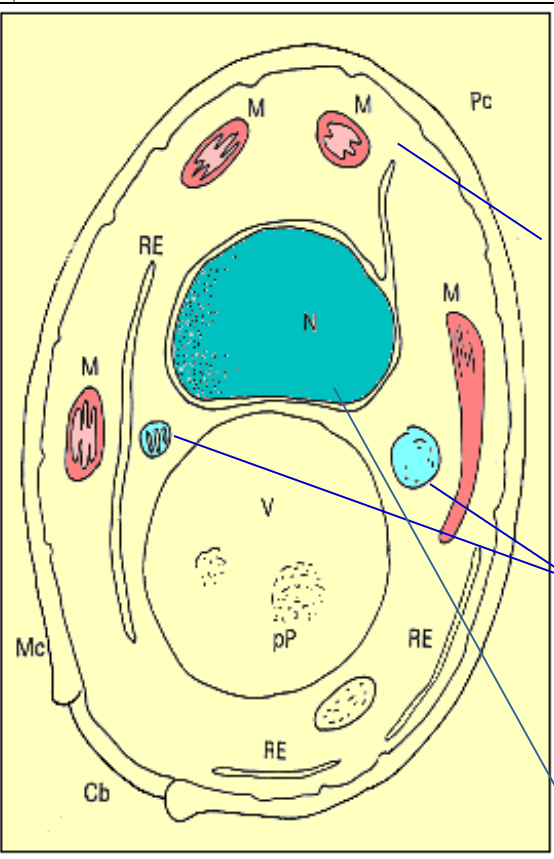
### (3) Retículo Endoplasmático

- Ligada à síntese de proteínas.

### (4) Vacúolo

- Armazenador temporário: enzimas





### (5) Mitocôndria

- é conversão da energia aeróbica (ATP); síntese de proteínas e RNA.

### (6) A célula contém reserva de nutrientes.

- Glicogênio, lipídeos,...

### (7) Núcleo

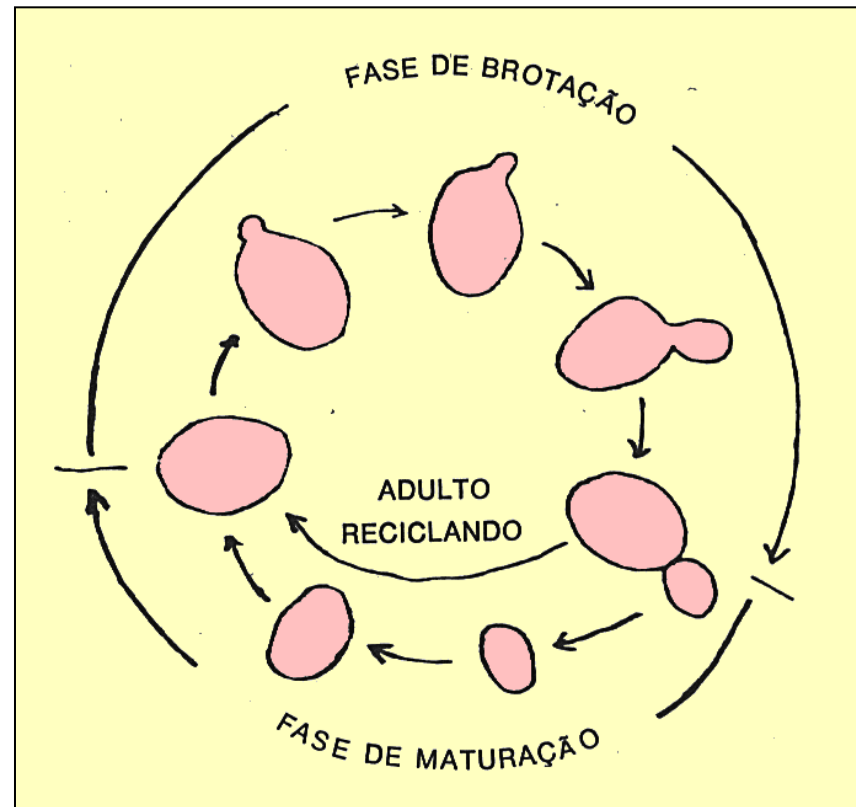
# REPRODUÇÃO EM LEVEDURAS

(a) brotamento ou gemulação (multiplicação vegetativa) - assexuado -

(b) esporulação (formação de “ascos”)

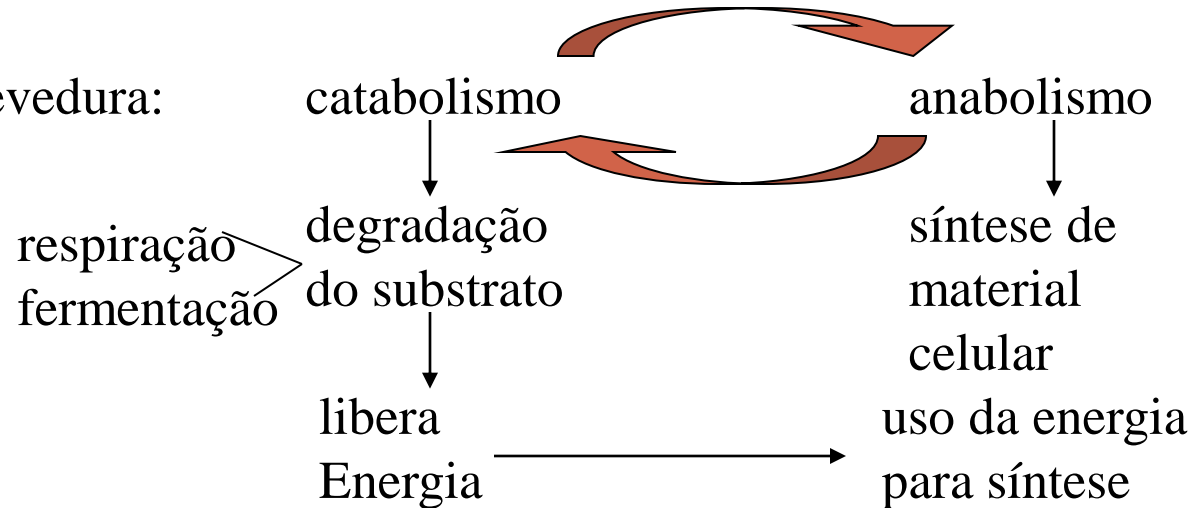
(a) brotamento

Ciclo vegetativo de leveduras alcoólicas.



# FISIOLOGIA E E METABOLISMO DAS LEVEDURAS

- Metabolismo de levedura:



- (1) Respiração → oxidação biológica de substratos orgânicos sob sistemas multienzimáticos que catalisam a oxidação → transporte de elétrons na cadeia respiratória onde há ativação do oxigênio (acceptor e-) e formação de água.
- (2) Fermentação → reações em que compostos orgânicos atuam como substratos e como agentes de oxidação, em uma seqüência ordenada de reações enzimáticas.

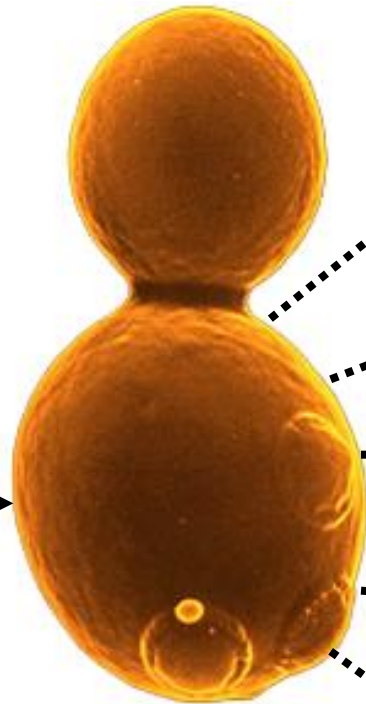


## **Açúcares**

Glicose

Frutose

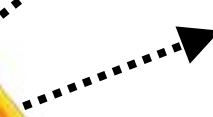
Maltotriose



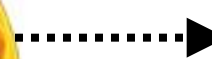
**Energia (ATP)**



**Etanol**



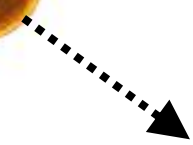
**CO<sub>2</sub>**



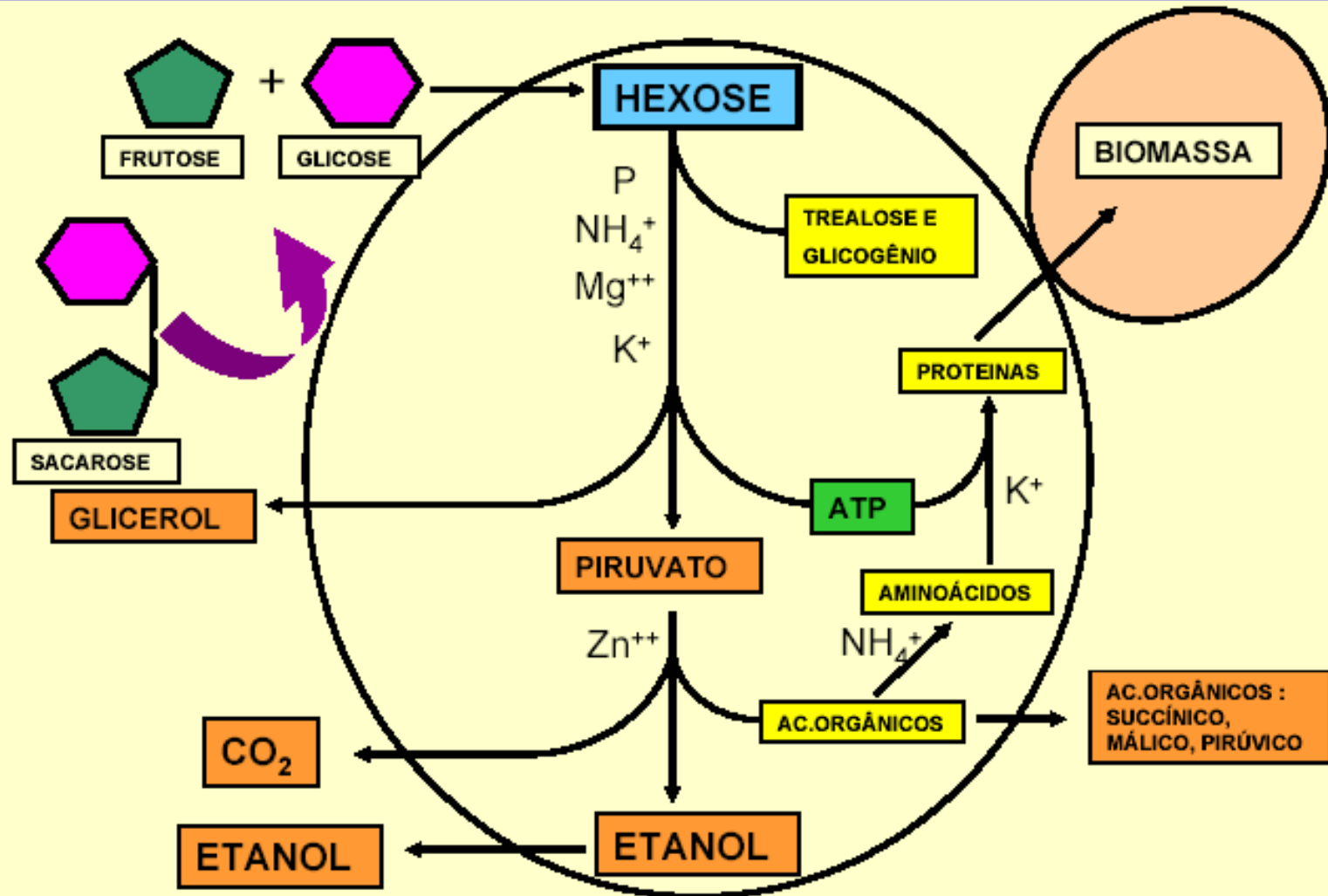
**Ésteres**



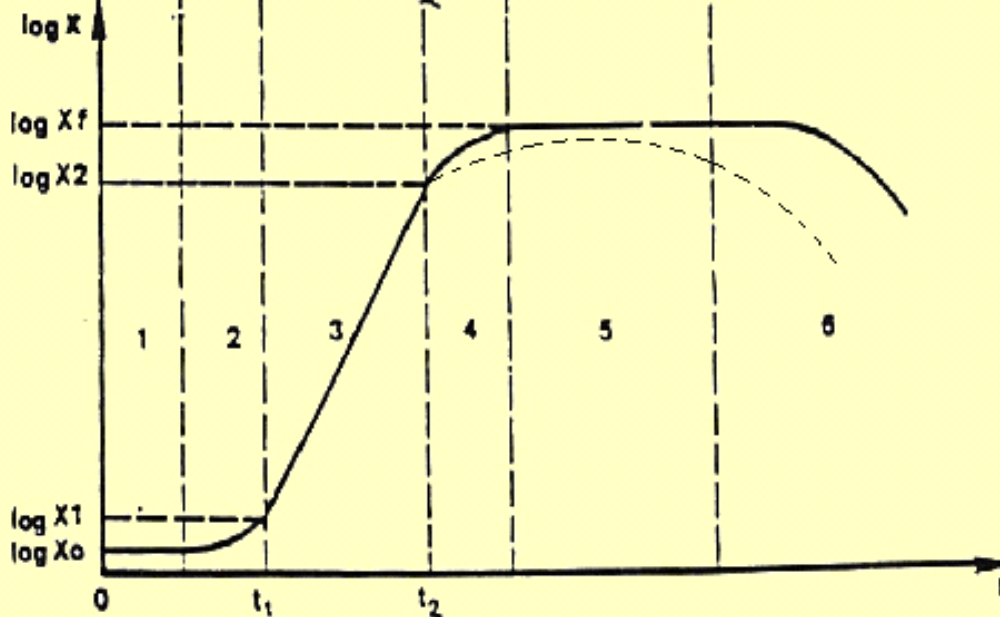
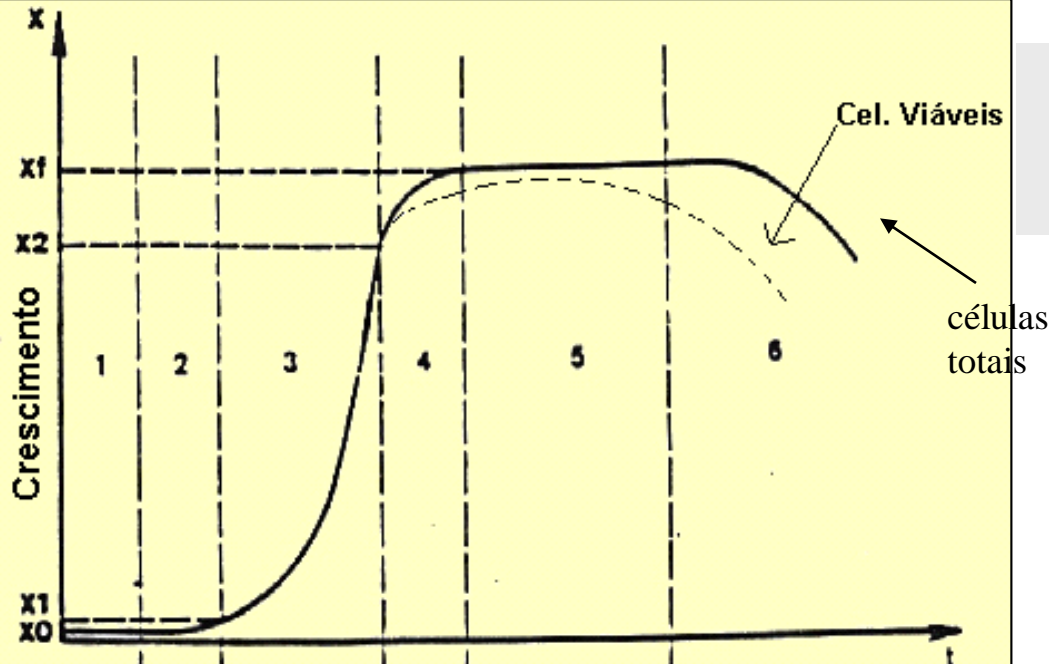
**Álcoois superiores**



# A FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA



# DESENVOLVIMENTO DAS LEVEDURAS



Desenvolvimento ou crescimento  
→ referente aumento populacional (multiplicação celular)

Fases de crescimento das leveduras em fermentação

- 1 - Lag-fase
- 2 - Fase de aceleração do crescimento
- 3 - Fase exponencial de crescimento
- 4 - Fase de desaceleração do crescimento
- 5 - Fase estacionária
- 6 - Fase de declínio

(1) **Fase “Lag”** → adaptação, em função:

- ✓ linhagem de levedura;
- ✓ idade do cultivo antes da transferência do meio;
- ✓ composição dos meios de cultivo anterior e novo.

(2) **Fase de Aceleração** → aumento gradual da velocidade de multiplicação celular.

(3) **Fase Exponencial** → aumento exponencial do número de células, cada célula se divide a intervalos constantes de tempo.

Caracteriza-se por :

- aumento exponencial do n° de células da população
- intenso metabolismo e estabiliza o tempo de geração das leveduras
- grande quantidade de produtos de excreção, metabólitos intermediários, temperatura e outros fatores alteram rapidamente a composição
- duração é controlada → composição e estado físico do meio dependendo do n° de células por unidade de volume e a acumulação de metabólitos e produtos finais (inibidores);

#### (4) **Fase Estacionária** - caracteriza-se

- ✓ n° de células na cultura permanece quase constante por um período de tempo
- ✓ há um baixo consumo de energia
- ✓ ocorre a manutenção da viabilidade até esgotamento das reservas.

Dentre os fatores decisivos tem-se:

- depleção de nutrientes do meio;
- acúmulo de produtos finais tóxicos.

#### (5) **Fase Declínio** –

- ✓ o número de células que morrem excede o número de células novas, que será função dos fatores:
  - ✓ composição do meio (esgotamento de nutrientes, acúmulo de produtos finais, etc);
  - ✓ condições físicas e químicas do meio (pH, temperatura, etc.)

# Produção Sucroalcooleira

**Fatores físicos e químicos que  
influenciam a fermentação  
alcoólica:**

## Efeitos da temperatura: **Temperatura**

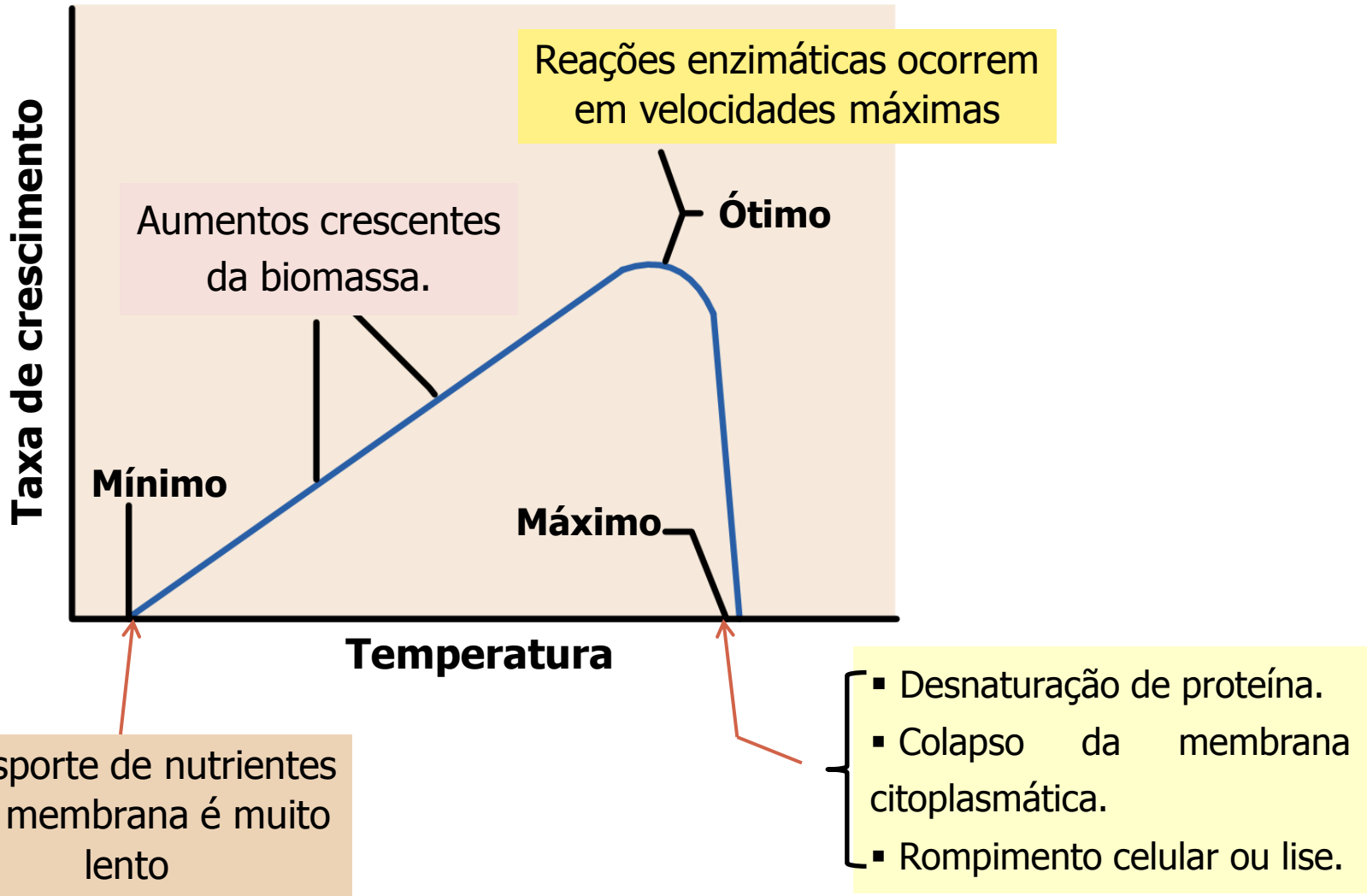
- ❑ Fatores externos;
  - ❖ mudança na temperatura da água, clima, mosto.
- ❑ Fatores intrínsecos;
  - ❖ Calor liberado durante a fermentação.

**Tabela:** Influencia da temperatura na variação do tempo de geração e do coeficiente específico de crescimento para a linhagem da levedura *Saccharomyces cerevisiae*.

Temperatura	Tempo de geração	Coef. Espc. De Cresc. (g/l/h)
20	5.0	0.15
24	3.5	0.21
27	3.0	0.30
30	2.2	0.31
36	2.1	0.29
38	4.0	0.19
40	---	---



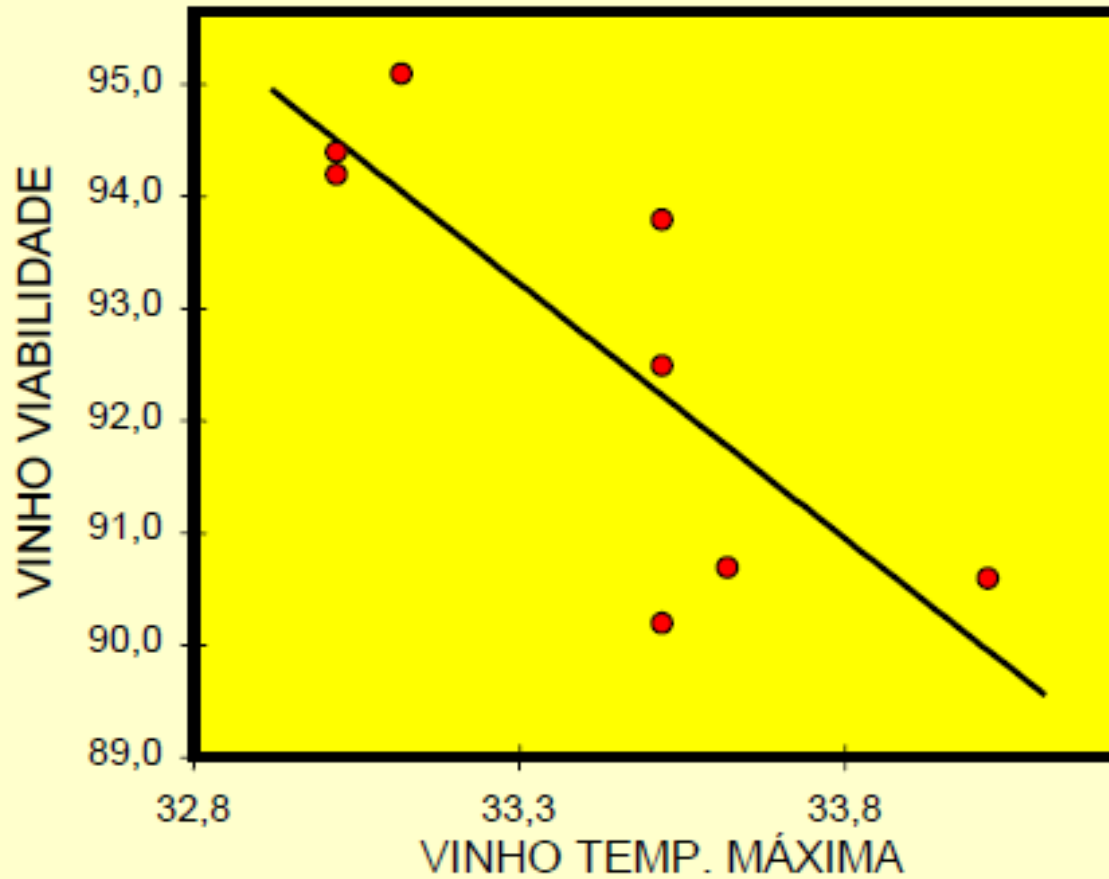
# Taxa de crescimento X temperatura



# Temperatura da fermentação

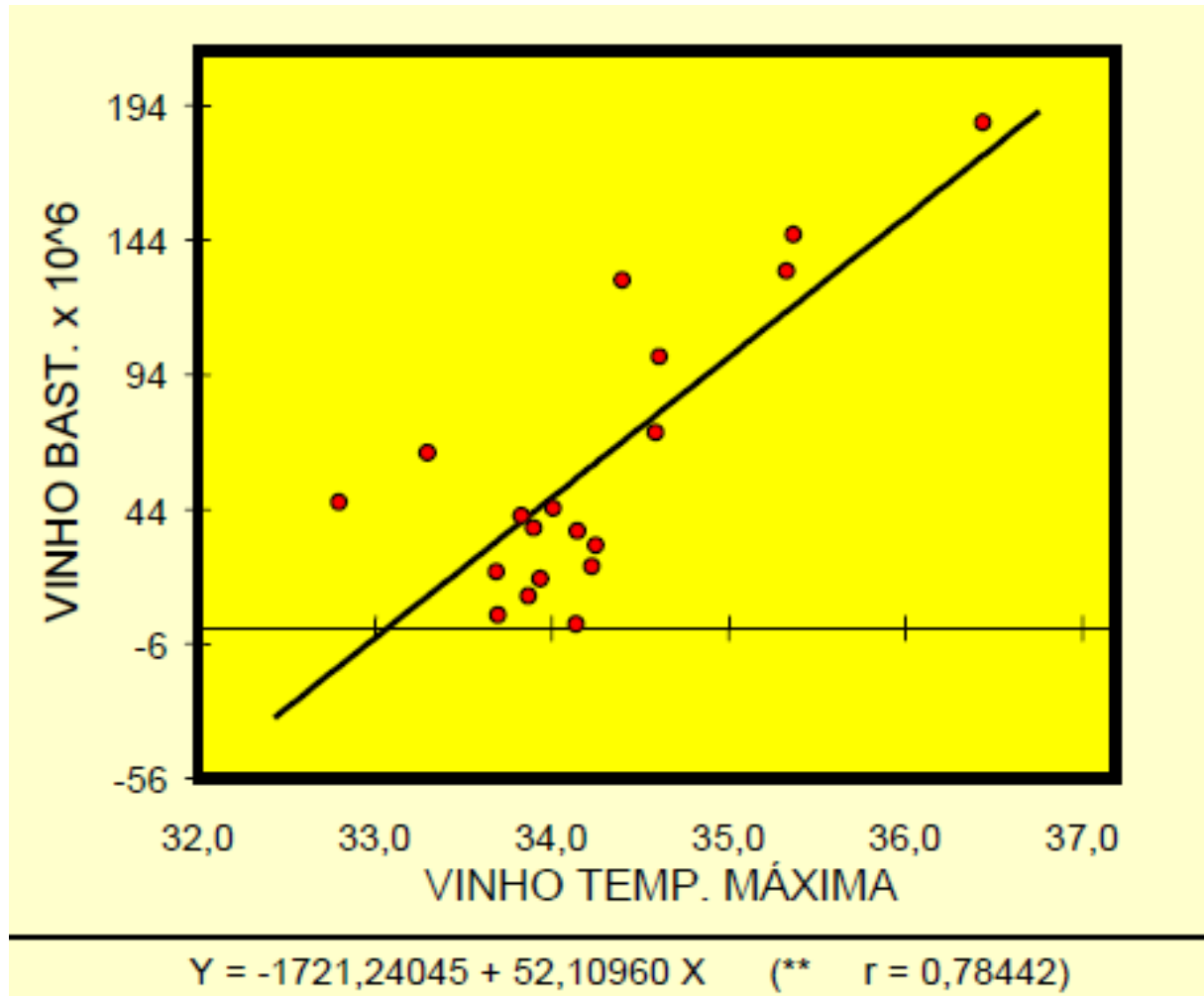
- ❑ Influência direta sobre a fermentação.
- ❑ Favorece multiplicação bacteriana.
- ❑ Floculação.
- ❑ Acima de 35 °C afeta o desempenho da levedura.
- ❑ Redução da viabilidade de fermentação.
- ❑ Diminui rendimento da fermentação.
- Temperatura ótima;
  - ❖ Crescimento 26 a 30 °C.
  - ❖ Fermentação 28 a 34 °C.

## Temperatura X Viabilidade



$$Y = 244,57798 - 4,54762 X \quad (* \quad r = -0,80498)$$

## Temperatura X Contaminação do vinho



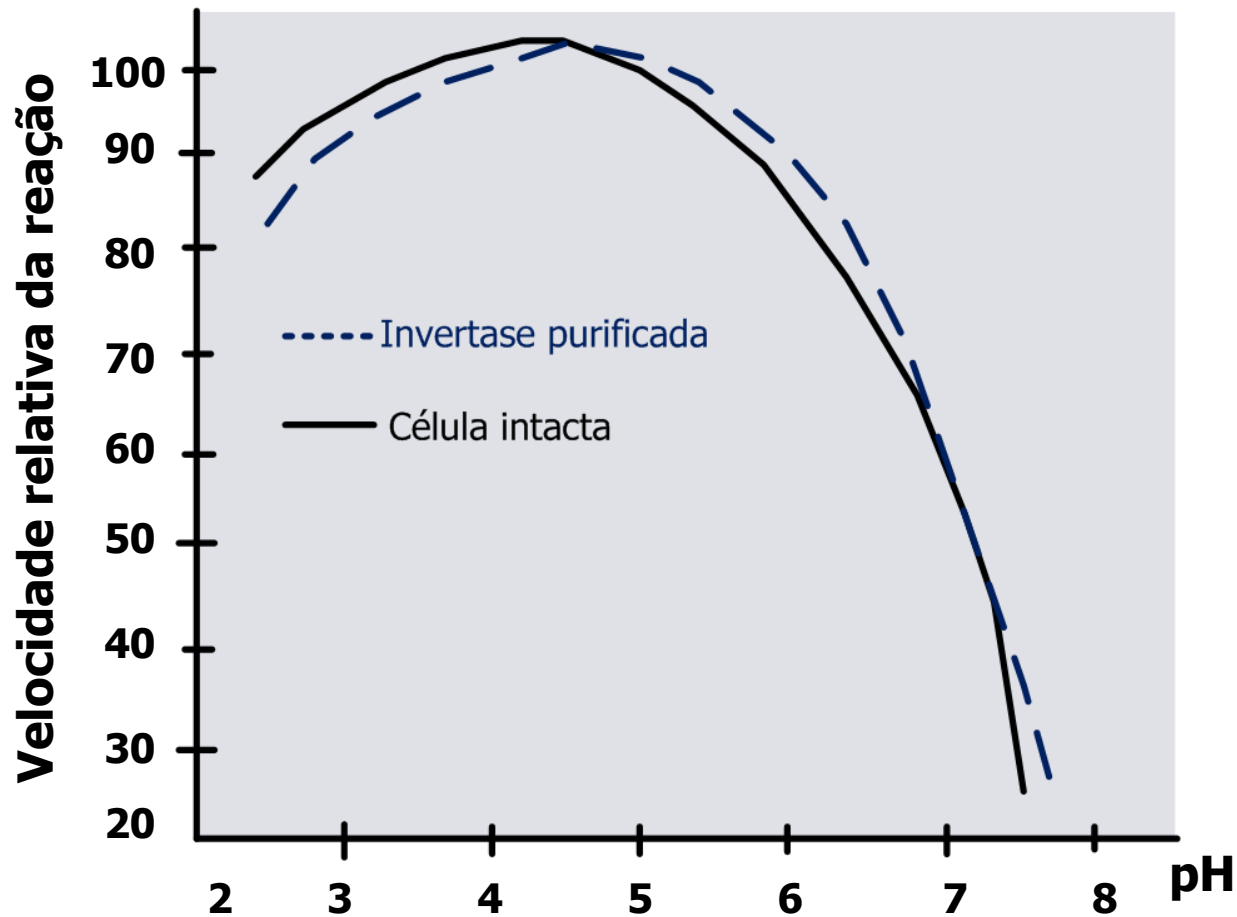
## pH

☐ Fermentação

→ pH inicial 4,2 a 5,1.

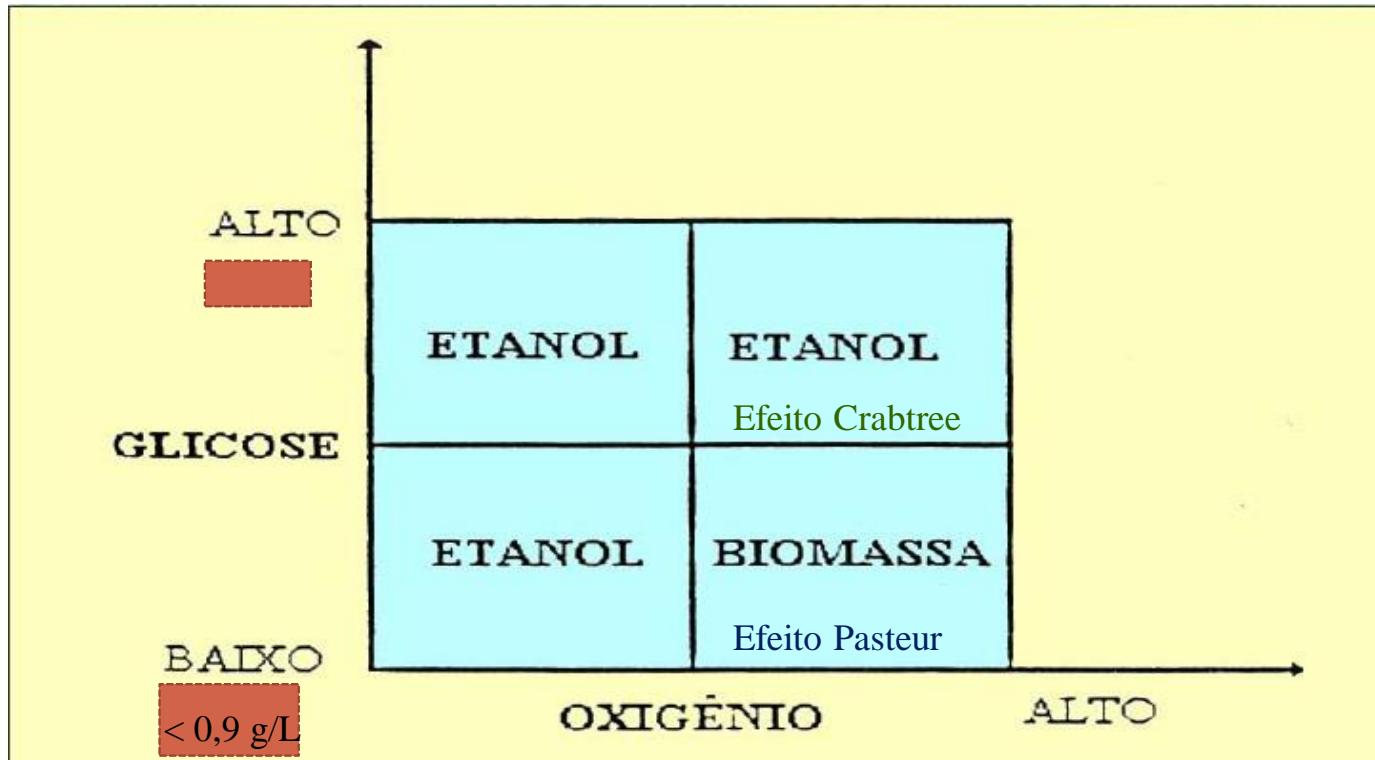
→ pH final 3,9 a 4,1.

## Efeito do pH na atividade de invertase da levedura



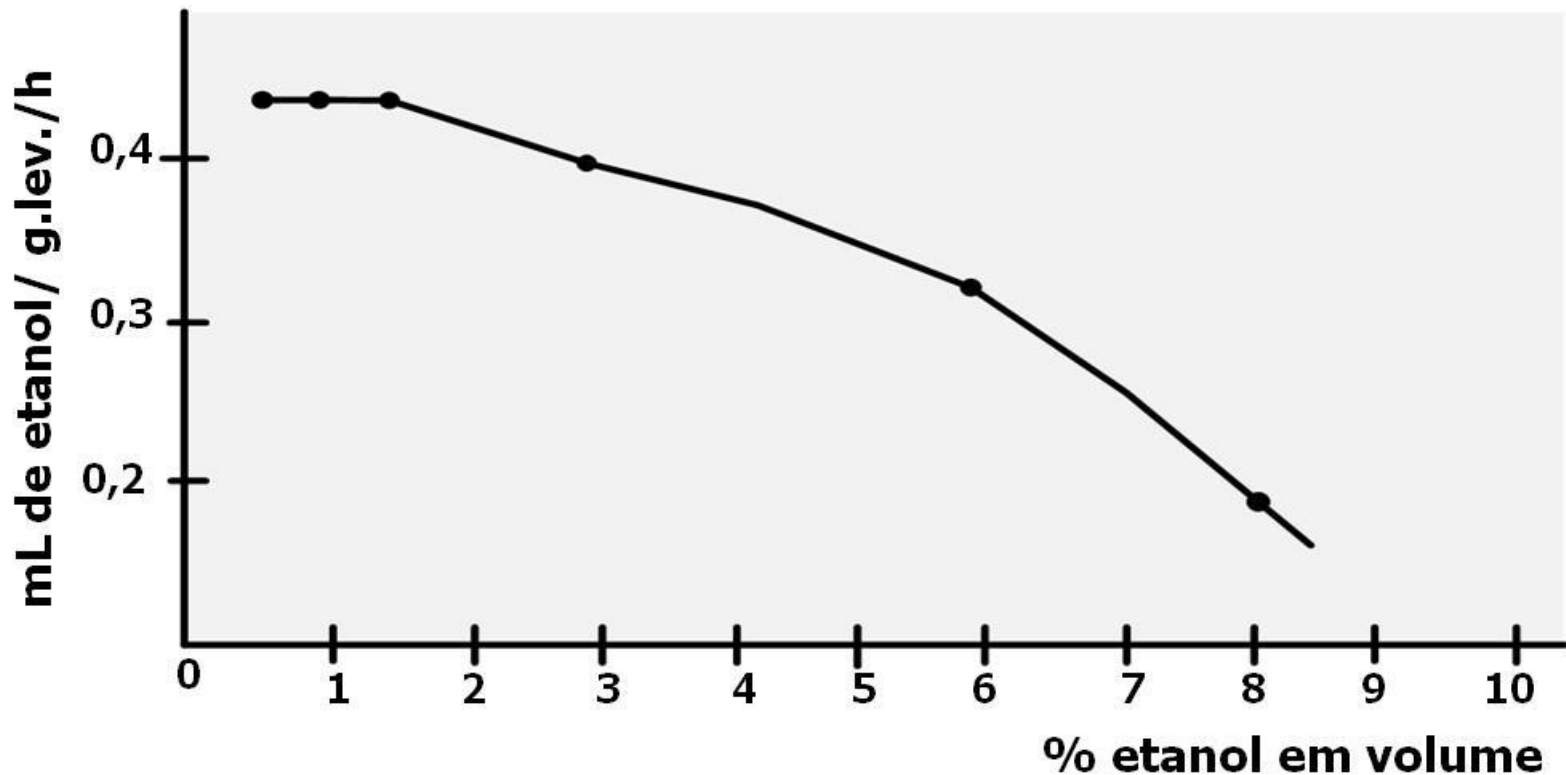
# Condições ambientais (substrato x produto)

Efeito da concentração de etanol e glicose sobre o metabolismo de *S. cerevisiae*.



## Efeito da concentração de etanol

- ❖ Inibe a atividade metabólica e leva a morte (sem condições de sobrevivência).
- ❖ Limite do vinho → 12% de álcool → variável (espécie e linhagem de leveduras e condições da fermentação).





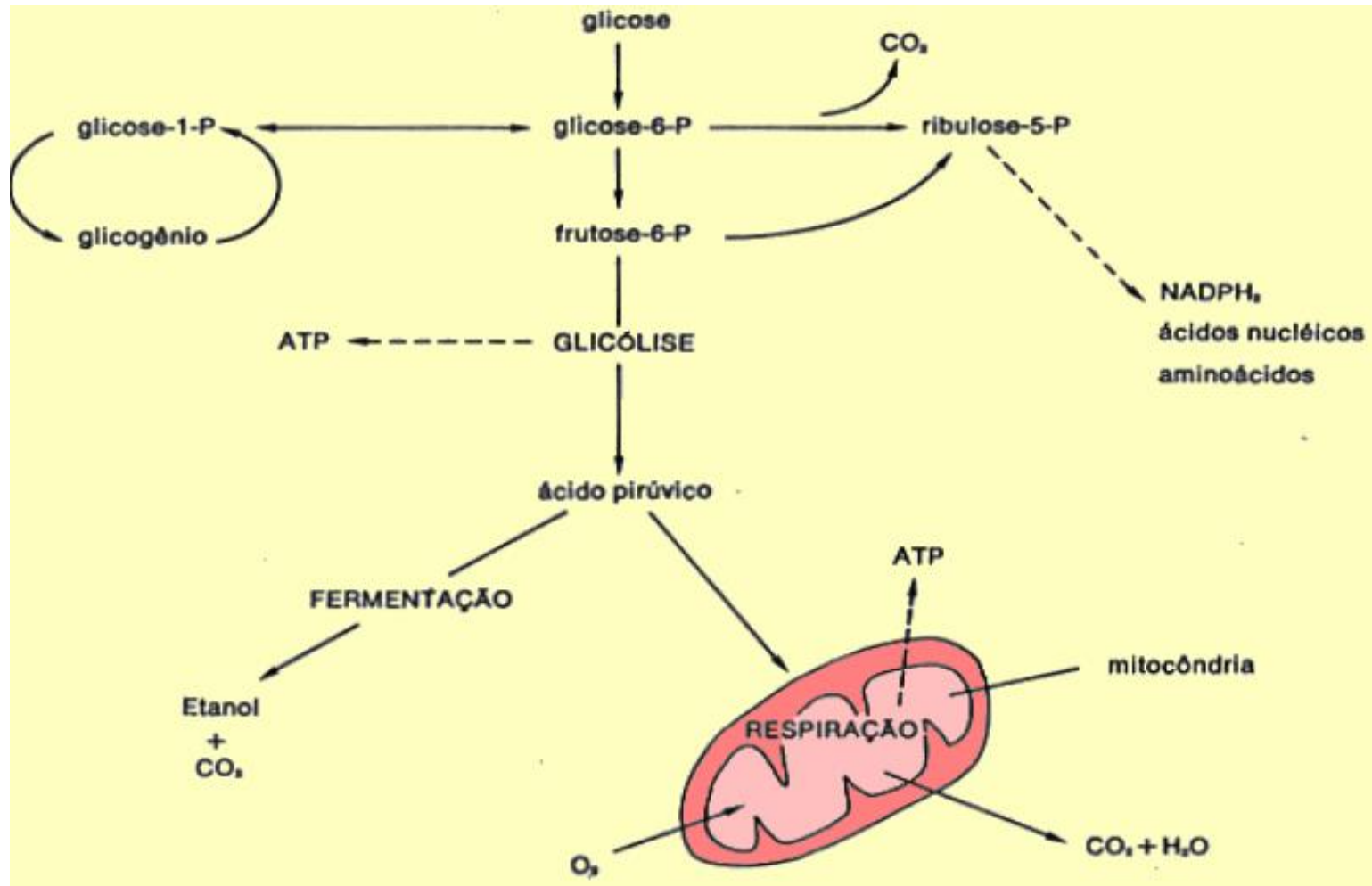
## **Leveduras com alto desempenho fermentativo**

□ Suportar os estresses da fermentação Industrial com reciclo de células.

- ❖ Altas temperaturas;
- ❖ Elevados teores alcoólicos;
- ❖ Paradas (falta de açúcar);
- ❖ Agentes tóxicos ( sulfito, alumínio, etc);
- ❖ Pressão osmótica;
- ❖ Contaminação bacteriana.

□ Sustentar alta viabilidade celular durante reciclos e apresentar boa eficiência em etanol.

# Vias de degradação de carboidratos e a produção de etanol



# **PREPARO DO FERMENTO**

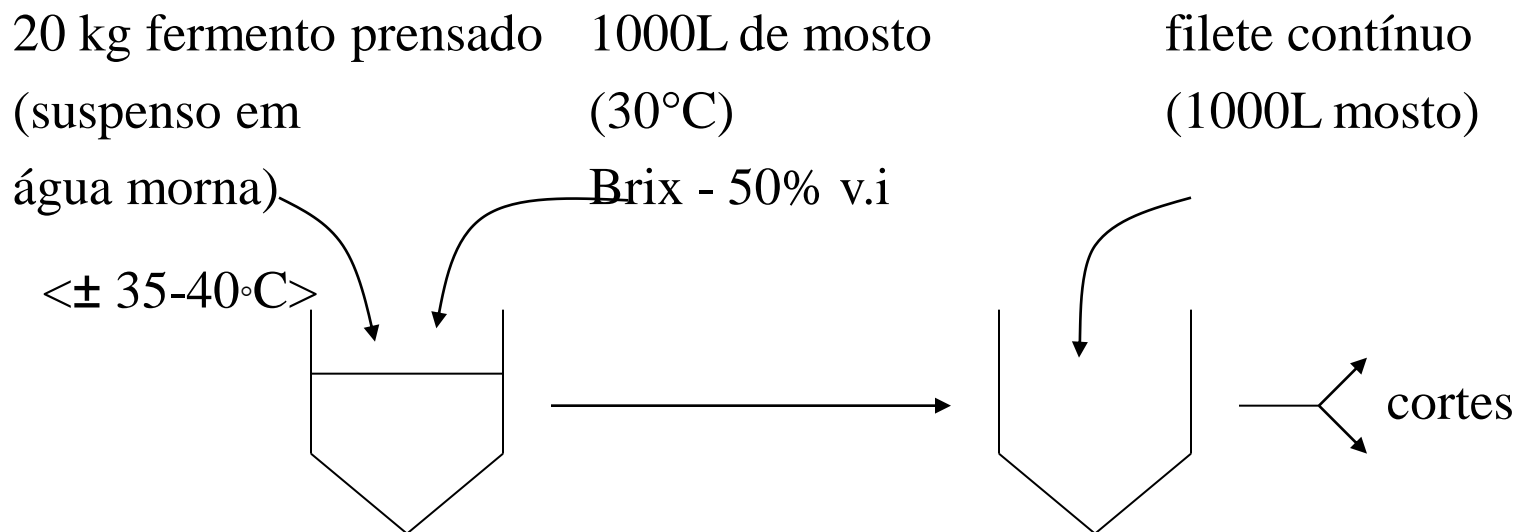
**(1) Fermento Prensado**

**(2) Fermento selecionado**

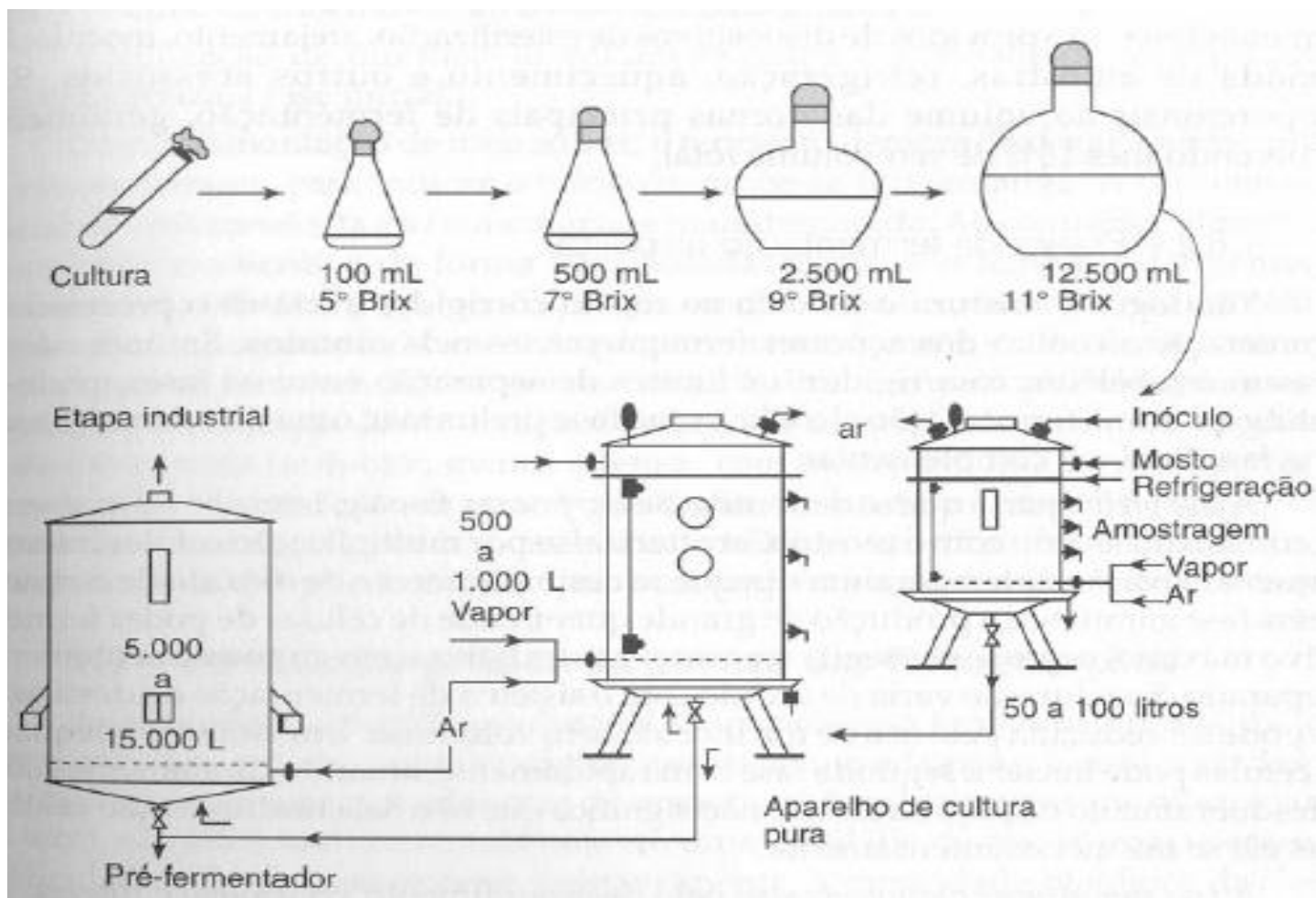
**(3) Reciclo de células (Processo Industrial Brasileiro)**

## (1) Fermento Prensado ou liofilizado

### Esquema:



## (2) Fermento Seleccionado



# Produção Sucroalcooleira



## Processos industriais da condução da fermentação alcoólica



□ Processos de fermentação em batelada alimentada e contínua

## Fases da Fermentação

### Função

- Desprendimento de CO<sub>2</sub>;
- Temperatura;
- Produção de etanol;
- Consumo de açúcares.

### Preliminar ou Pré:

- ❖ Pequena elevação de temperatura;
- ❖ Multiplicação fermento (dreno de energia);
- ❖ Pouco etanol.

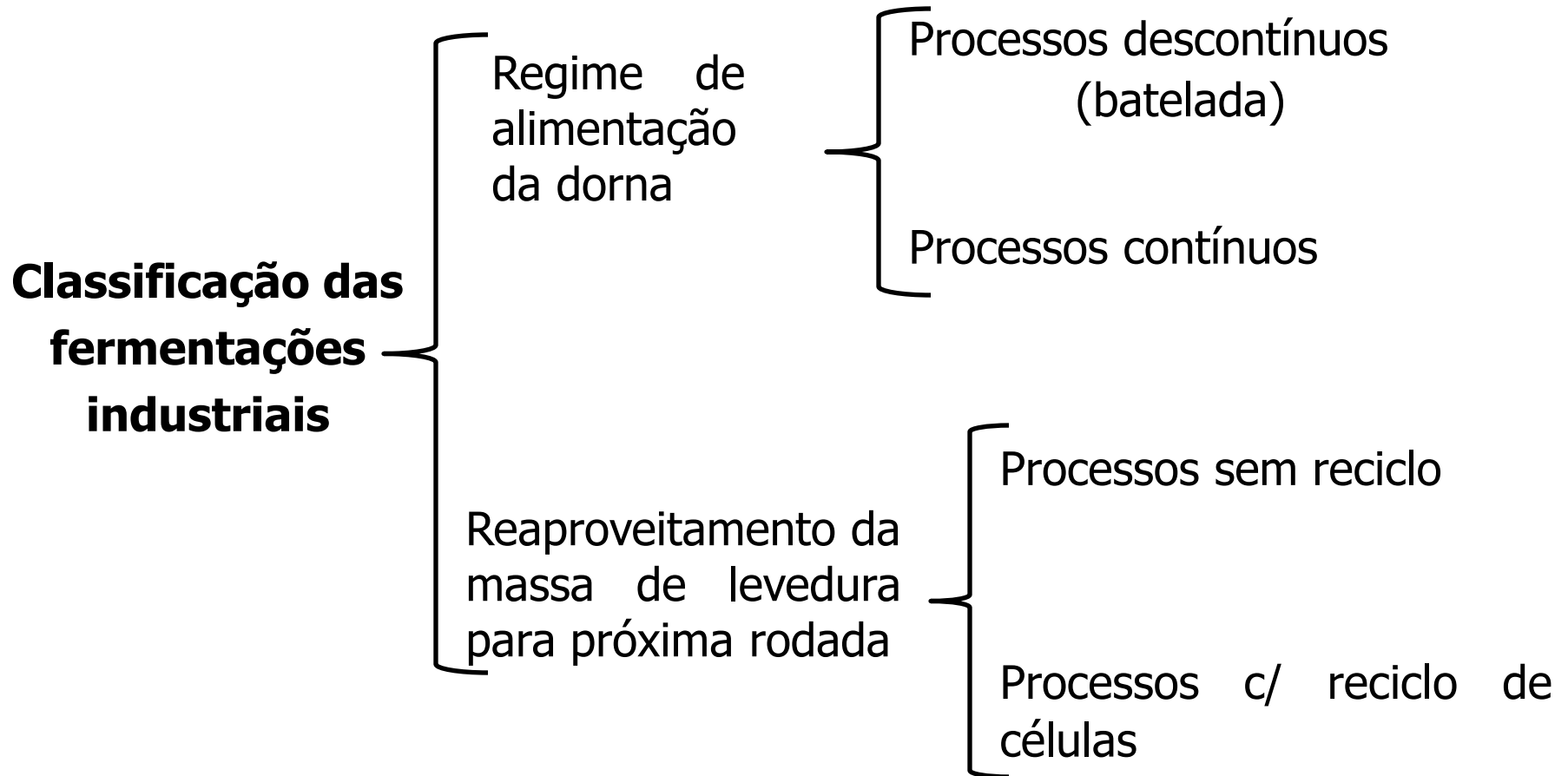
### Principal ou Tumultuosa:

- ❖ Maior temperatura (°C);
- ❖ Produção de etanol;
- ❖ Maior espumas - meio anaeróbico;
- ❖ Atenuação do Brix - maior acidez.

### Complementar ou pós-fermentação:

- ❖ A tranquilidade na superfície do vinho;
- ❖ Tendência de igualdade das temperaturas de fermentação e ambiente;
- ❖ Acentuado aumento da acidez.

# Processos industriais na condução da fermentação do mosto





# Processos descontínuos

## Processos Intermitentes

### Batelada simples

- A fermentação só tem início após o preenchimento do fermentador, momento em que se mistura o mosto com o fermento.
- Ideal para fermentações laboratoriais e farmacêuticas (pequena escala).
- Maior choque osmótico e dificuldade de adaptação.

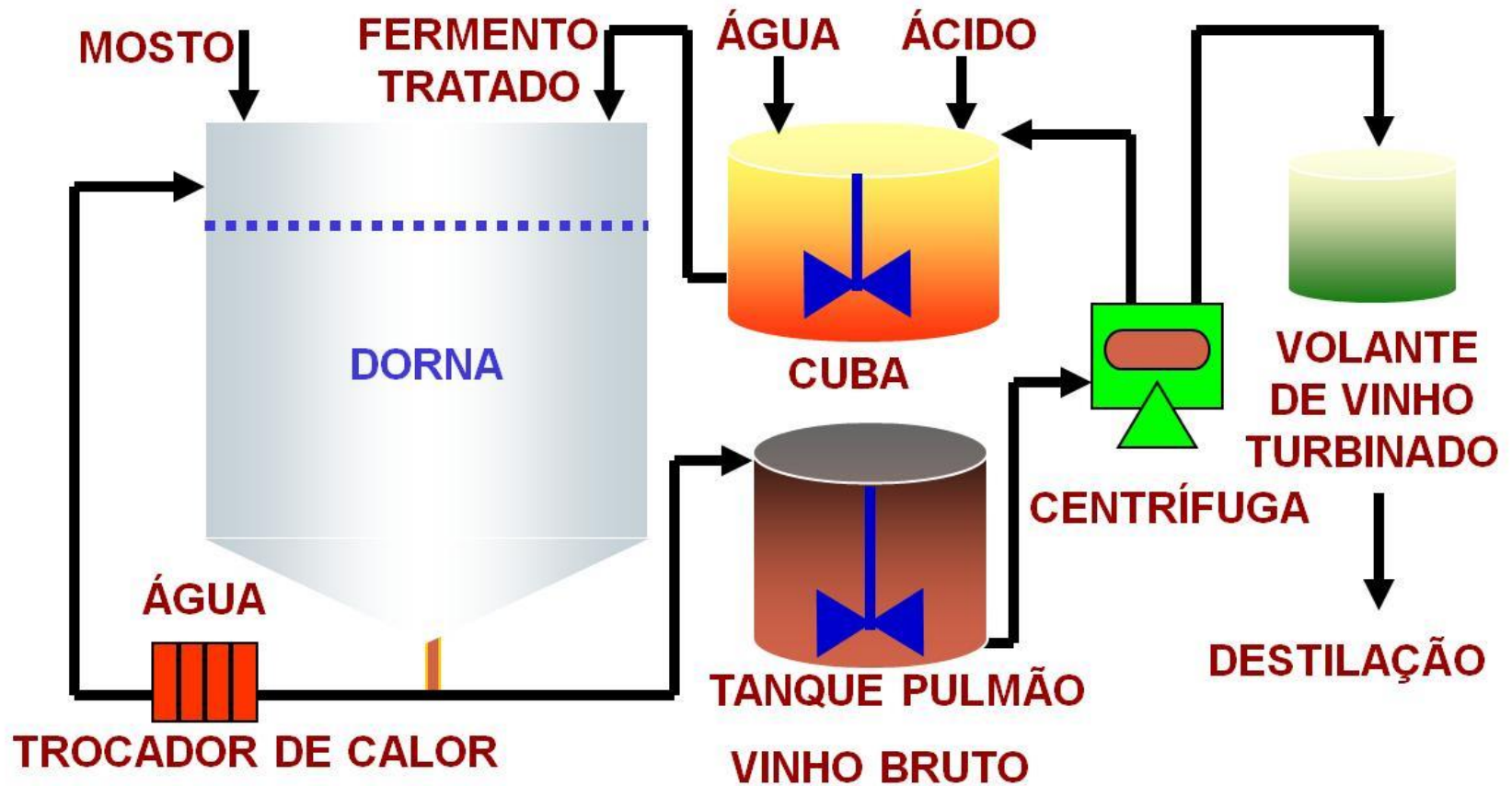
### Batelada alimentada

- Mistura-se o mosto ao fermento conforme a dorna vai sendo abastecida.
- Método mais produtivo.
- Expões as leveduras a menores riscos de se tornarem inativas, comparado com o processo de batelada simples.

# Tipos de processo de fermentação

Batelada Alimentada (Melle-Boinot)

Com centrifugação



# **Descontinua alimentada: Processo Melle-Boinot**

## **Características:**

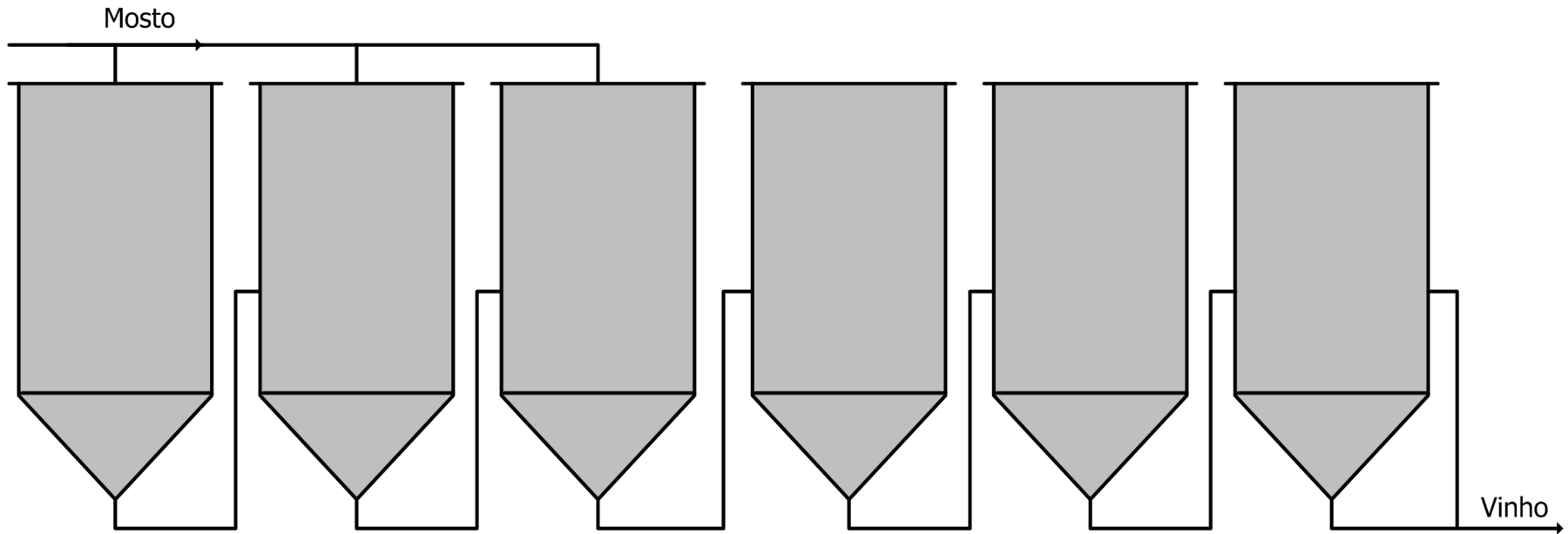
- 1) Alta eficiência na fermentação: conversão de açúcar em álcool, menores perdas e de tempo;
- 2) Simplicidade, rapidez e menor contaminação do caldo;
- 3) Menor consumo de insumos;
- 4) Melhor uso das dornas.

## **Vantagens da batelada Alimentada (Melle-Boinot), em relação aos outros processos intermitentes**

- 1) Rendimento da fermentação de 90 - 92% e maior riqueza alcoólica no vinho;
- 2) Maior estabilização do processo: simplicidade, regularidade de trabalho e menor infecção;
- 3) Maior capacidade da instalação;
- 4) Menor incrustação nos aparelhos de destilação;
- 5) Maior controle de assepsia;
- 6) Condições do mosto em processo (s/ choque) e menor consumo de nutrientes;
- 7) Menor tempo de fermentação;
- 8) Maior pureza do vinho pela centrifugação e tratamento de caldo e menor fermentações secundárias.

**Desvantagens:** Maior custo de Instalação;

# Fermentação contínua



- ❑ Todas as dornas ligadas entre si, como se fora uma única, do fundo de uma à metade da seguinte.
- ❑ As primeiras recebem a alimentação e as demais operam como de fermentação final.

# FERMENTAÇÃO CONTINUA

## PROCESSO ANDRIETTA-STUPIELLO





Fermentação contínua - Usina São Manoel

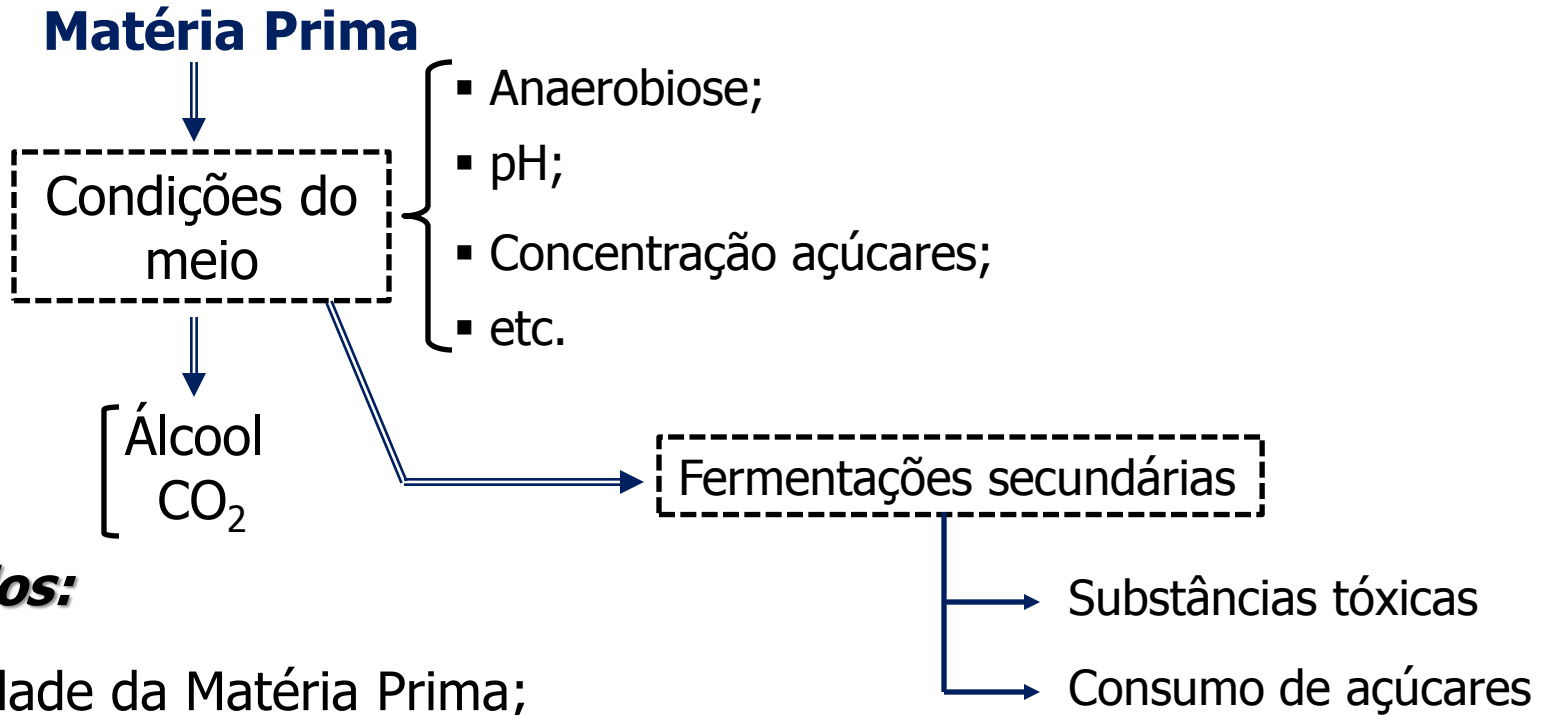
## Quadro comparativo de sistemas de fermentação

<b>Fator</b>	<b>Sistema</b>	
	<b>Batelada Alimentada</b>	<b>Contínuo</b>
Tempo de enchimento	Três horas	---
Tempo de fermentação total	Oito horas	---
Tempo de centrifugação	Uma hora	---
Tempo de limpeza	0,25	---
Tempo de carga de fermento	0,5	---
Tempo total de ciclo	9,75	8 horas
Produtividade	---	18% maior
Calor a ser removido	1.600.000 kcal/h	1.037.913 kcal/h

**Fonte: Andrietta (2003).**



# Sistema contaminantes da fermentação



## ***Cuidados:***

- 1) Qualidade da Matéria Prima;
- 2) Correto tratamento do caldo;
- 3) Quantidade e qualidade adequada do fermento;
- 4) Condução controlada da fermentação;
- 5) Uso correto de antissépticos e antibióticos.

# Recuperação de fermento

## Vantagens:

- 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.
- 5) Álcool de melhor qualidade em consequência.
- 6) Diminuição das incrustações nos aparelhos de destilação.

