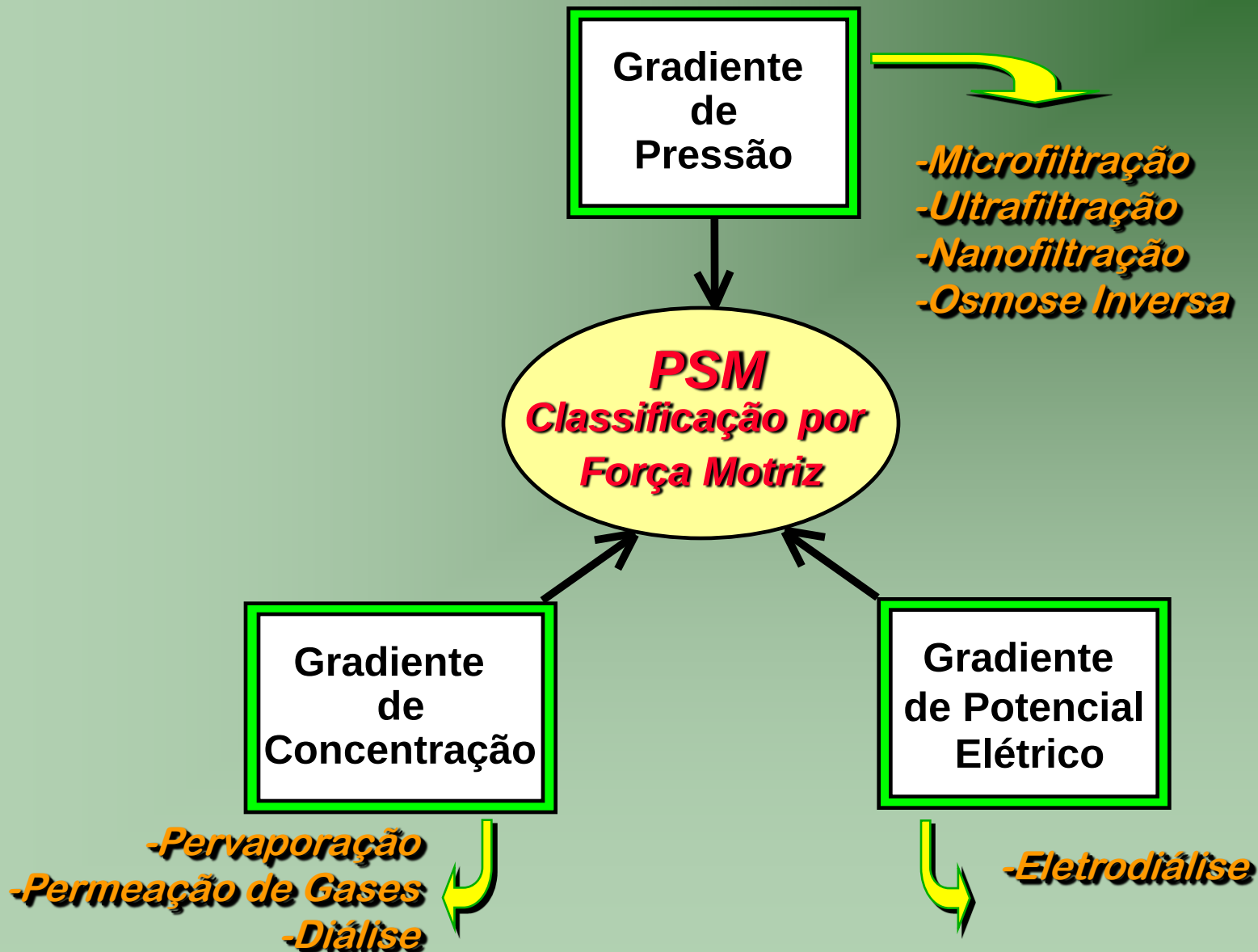


Processos de Separação por Membranas

Plano de Aulas:

- ✓ ***Considerações Gerais – Introdução***
- ✓ ***Breve Histórico***
- ✓ ***Morfologia de Membranas***
- ✓ ***Força Motriz e Mecanismos de Transporte em Membranas***
- ✓ ***Mercado***
- ✓ ***Síntese de Membranas***
- ✓ ***Caracterização de Membranas***
- ✓ ***Fabricação de Membranas e Módulos de Permeação***
- ✓ ***Principais Processos de Separação com Membranas***
- ✓ ***Fouling e Polarização de Concentração***
- ✓ ***Exemplos de Aplicações de Processos com Membranas***

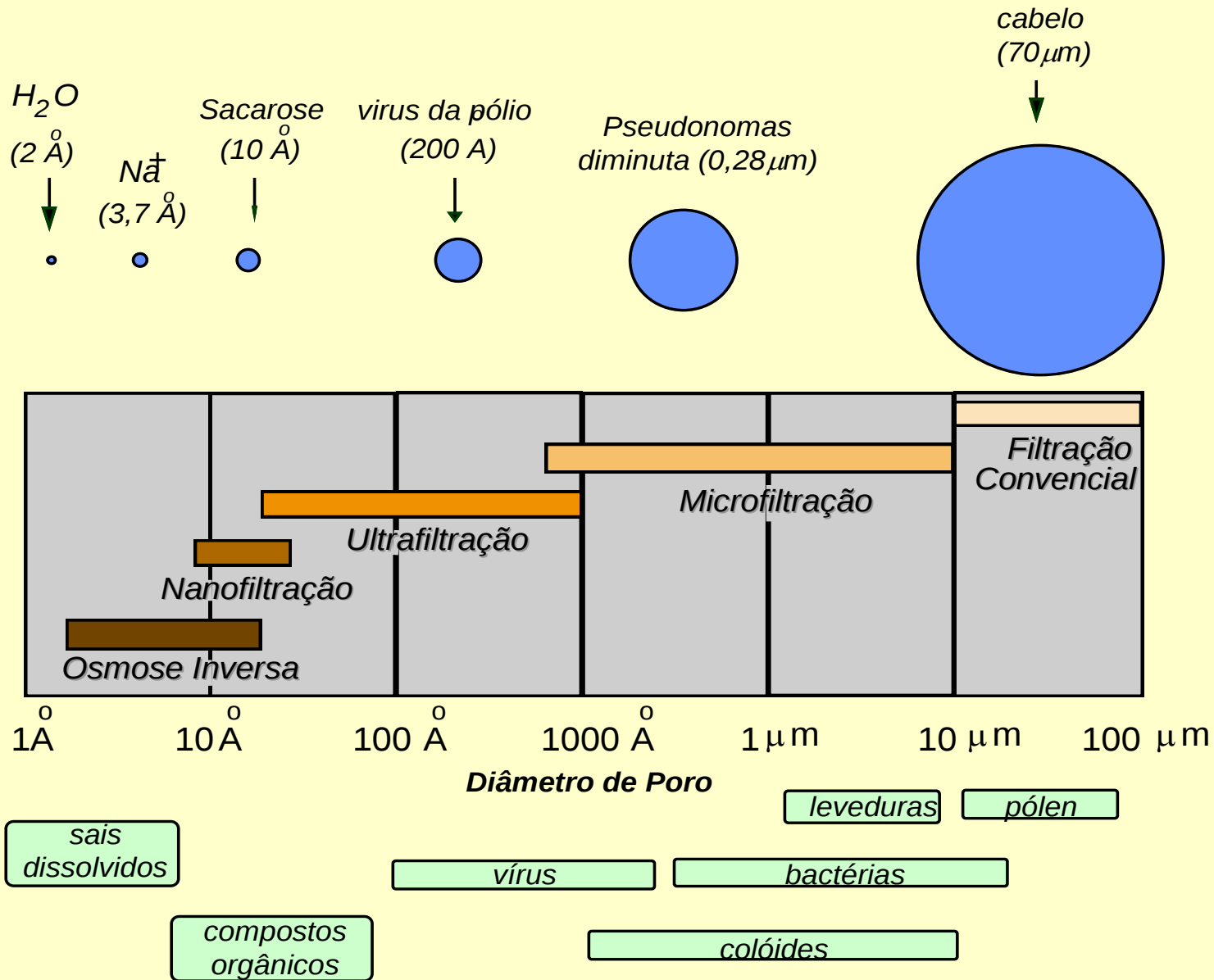
Didaticamente os PSM são divididos em três categorias, em função da natureza da força motriz empregada:



Características de Processos - força motriz ΔP

Dimensões das Partículas e Moléculas (m) ↓		Técnica de Separação	
Micro-Organismos 1 μm	10^{-5} 10^{-6} 10^{-7} 10^{-8} 10^{-9} 10^{-10} 10^{-10}	Filtração	
		Microfiltração	Células / Colóides Materiais em Suspensão ΔP Membrana Água Sais Moléculas de médio PM Macromoléculas
		Ultrafiltração	Macromoléculas ΔP Membrana Água Sais Moléculas de médio PM
		Nanofiltração	Moléculas de médio PM ΔP Membrana Água Sais
Moléculas de baixo PM e Íons 1 $\text{\AA}$ Átomos		Osmose Inversa	ΔP Membrana Água Sais

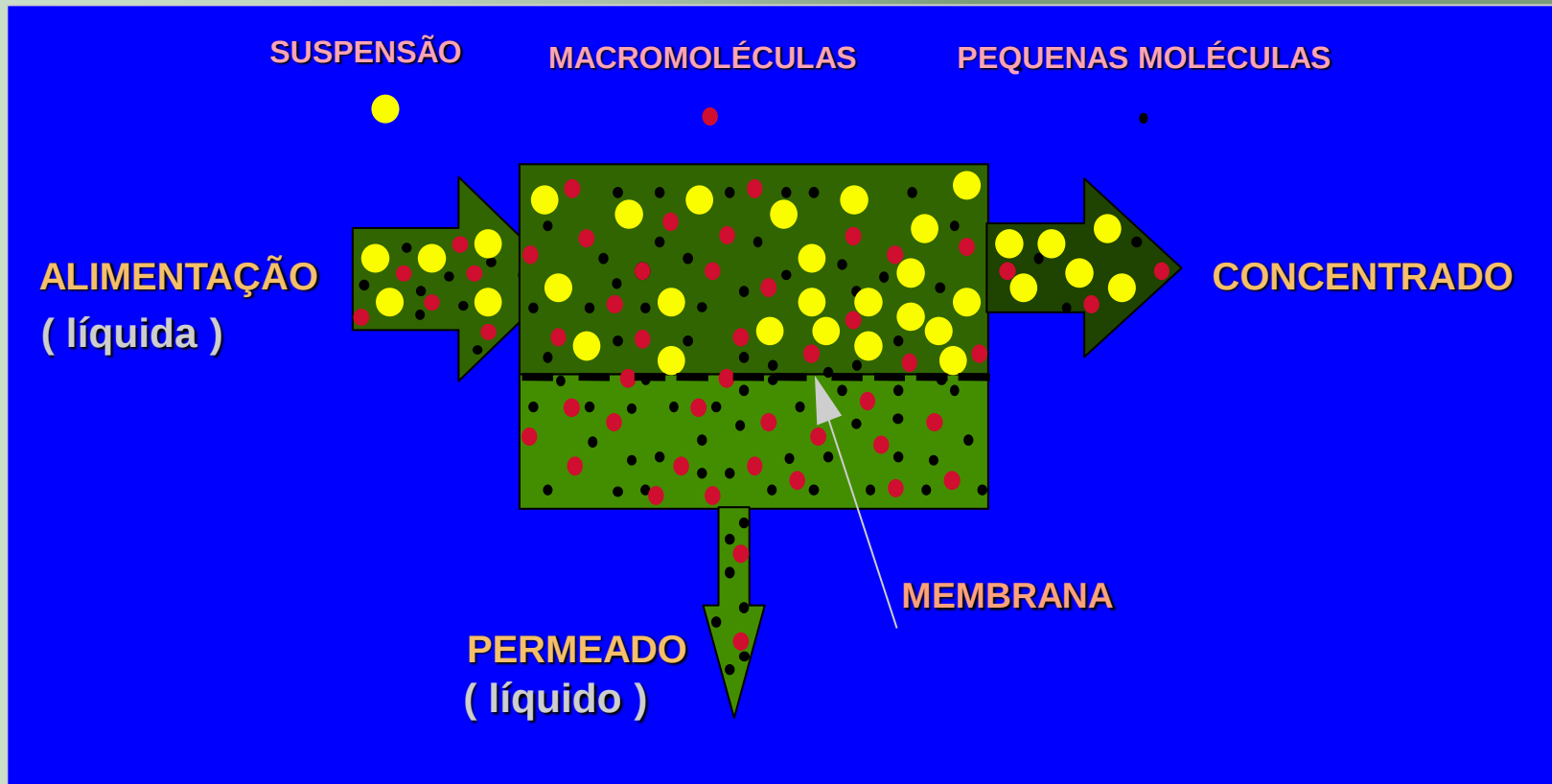
Faixa de Tamanho de Poros para os diversos PSM



MICROFILTRAÇÃO

FORÇA MOTRIZ $\rightarrow \Delta P (< 2 \text{ bar})$

TRANSPORTE CONVECTIVO



APLICAÇÕES

- **Remoção de microrganismos de sucos de frutas e bebidas (vinhos e cervejas)**
- **Esterilização a frio de ÁGUA e suco de frutas**
- **Estabilização de vinhos**
- **Clarificação de suco de frutas**

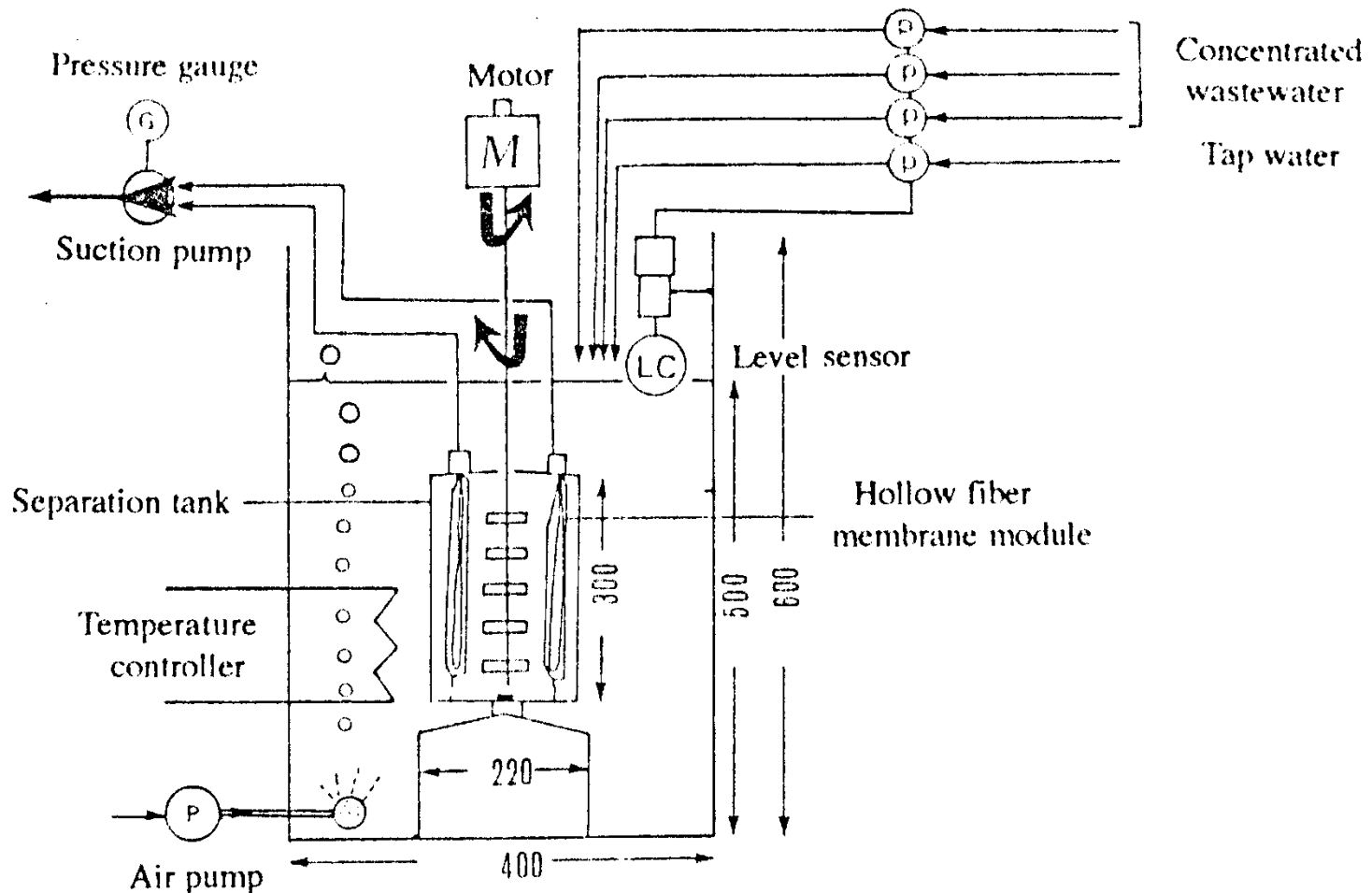
Exemplos de Aplicação de Microfiltração

TÍTULO:

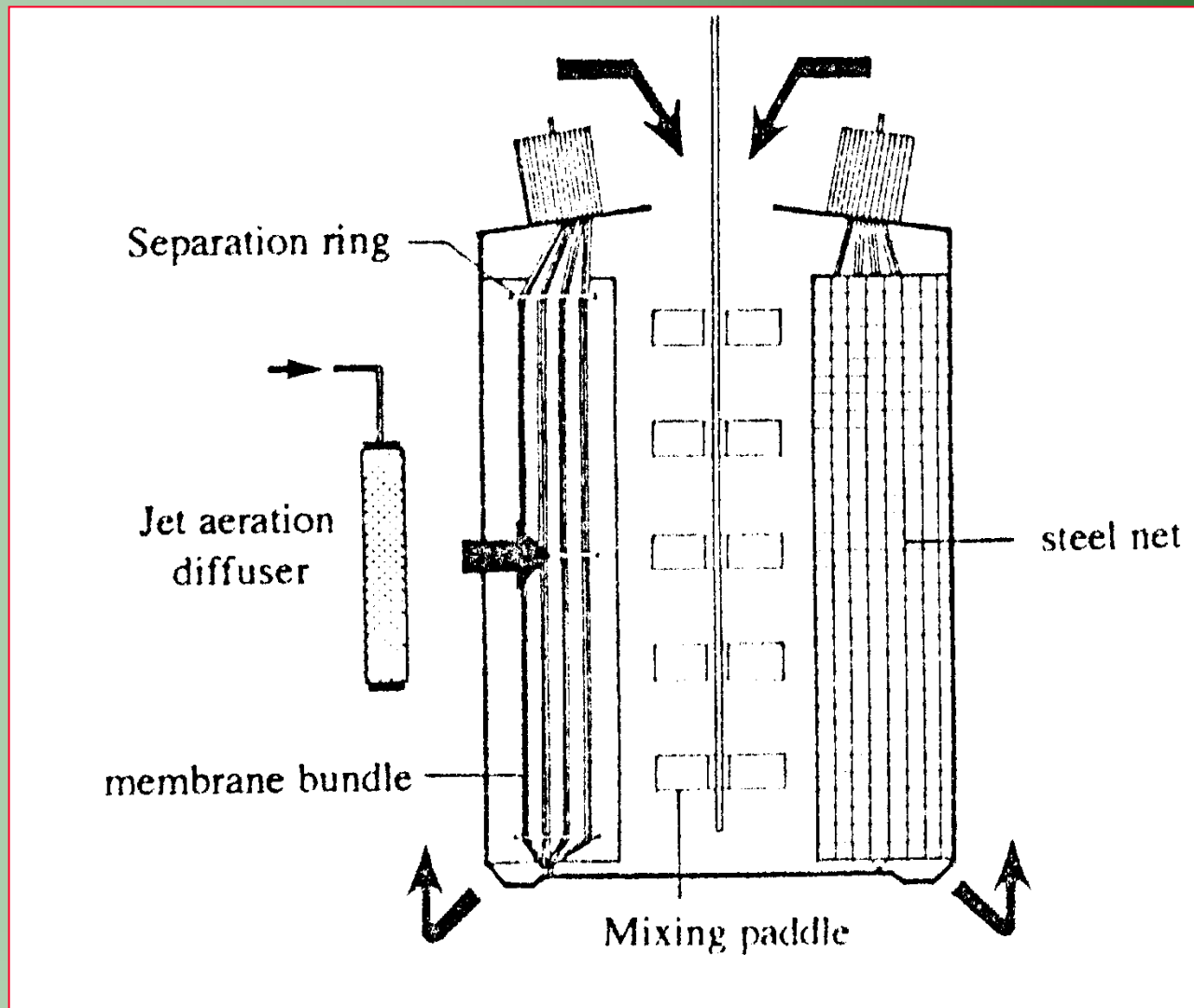
↪ Performance de um Reator a Membrana para Tratamento de Resíduo Doméstico.

AUTORES:

↪ Chiemchaisri e Yamamoto (Japão).



Detalhe do Módulo de Filtração

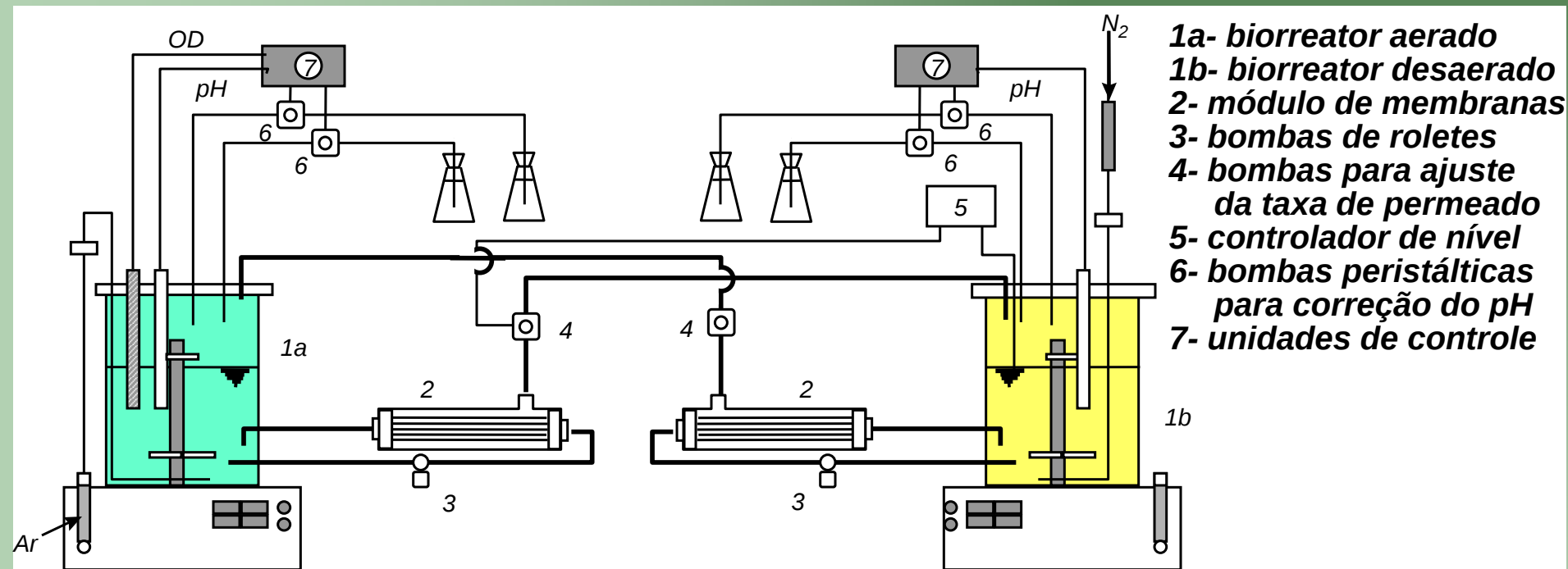


TÍTULO:

➤ Produção de etanol a partir de hidrolisado hemicelulósico sintético (glicose + xilose) usando co-cultura entre *Pichia stipitis* e *Sacaromyces cerevisiae*

AUTORES:

➤ Taniguchi et.al.(1997)



Resultados:

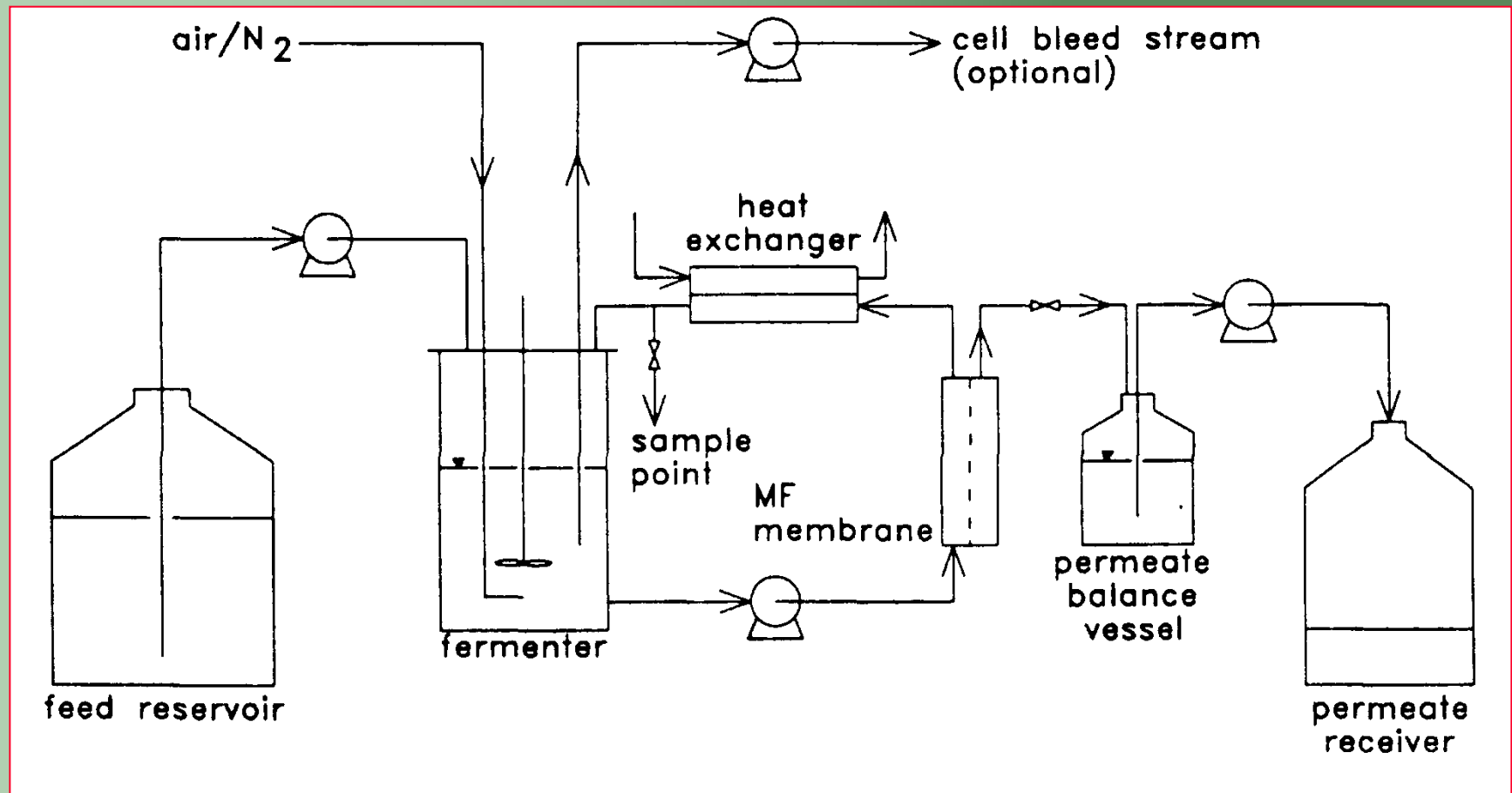
rendimento 30 % superior
produtividade 54% superior

TÍTULO:

Utilização de membranas cerâmicas tubulares de Microfiltração em fermentações de soro de leite promovendo o reciclo de células.

AUTORES:

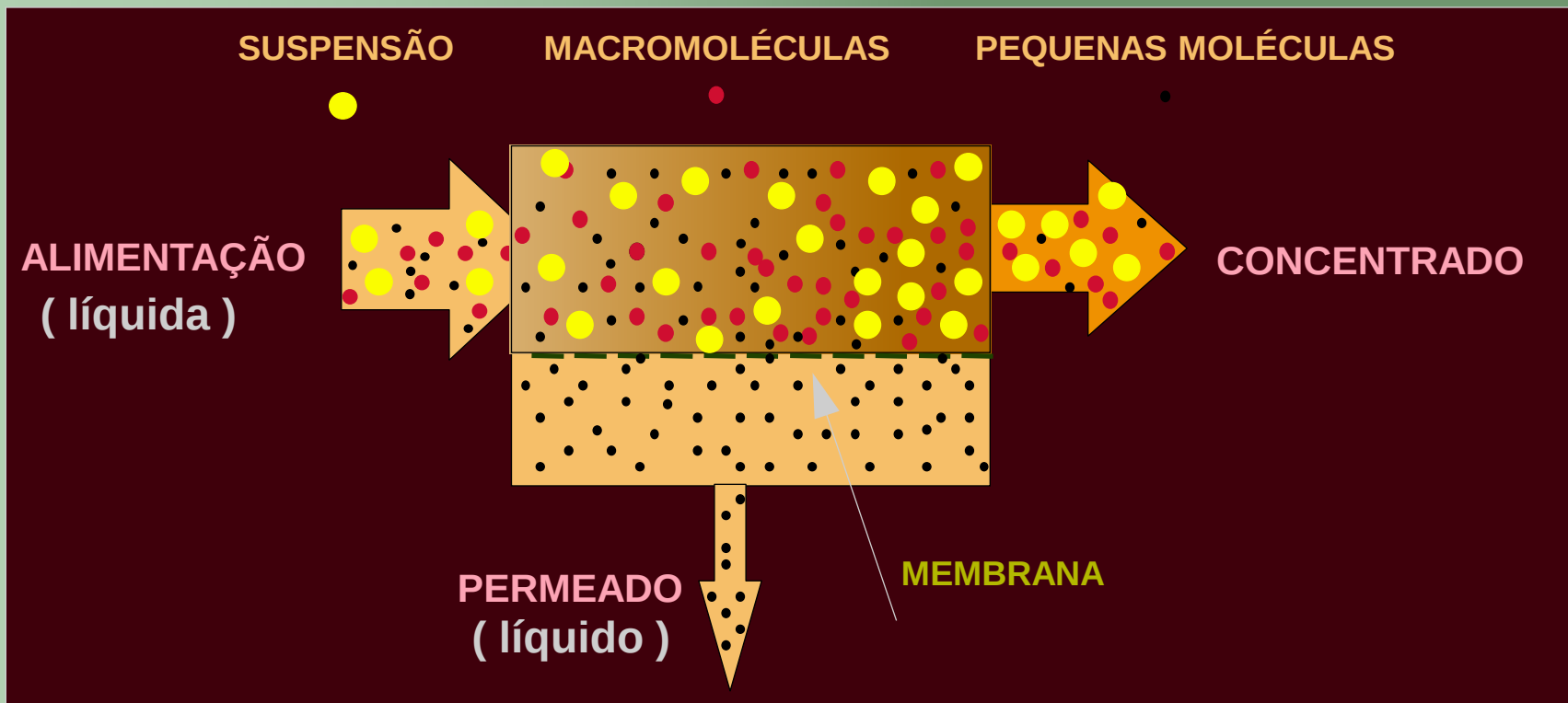
Tim e Mawson (1998)



ULTRAFILTRAÇÃO

FORÇA MOTRIZ $\rightarrow \Delta P$ (< 10 bar)

TRANSPORTE CONVECTIVO



APLICAÇÕES

- **Concentração e purificação de proteínas e enzimas.**
- **Concentração de Leite e soro de Leite**
- **Recuperação de corantes e pigmentos**
- **Recuperação de goma na indústria Têxtil**
- **Recuperação de óleos de lubrificação/ refrigeração**
- **Recuperação de goma na indústria Têxtil**

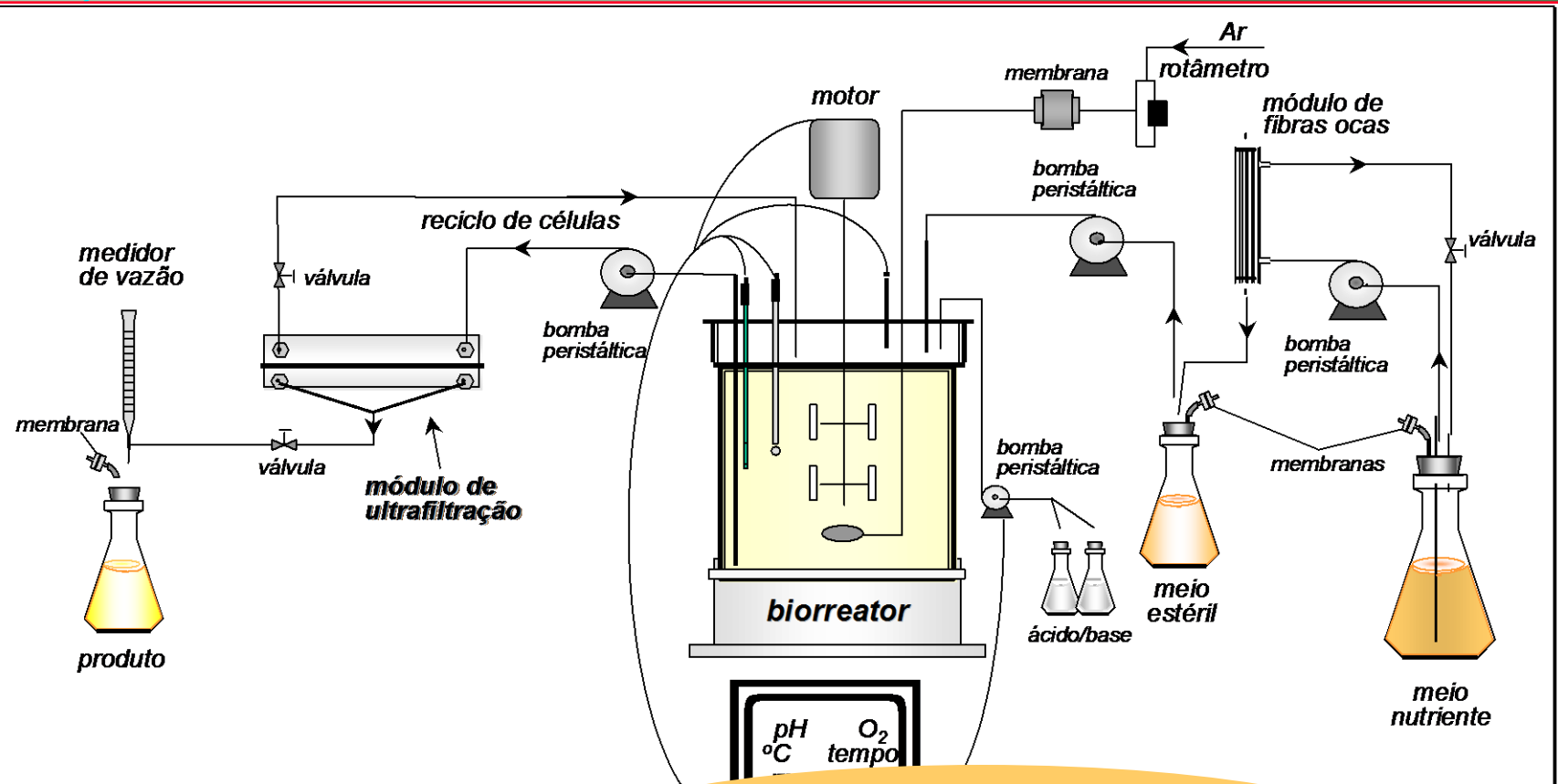
Exemplos de Aplicação de Ultrafiltração

TÍTULO:

➤ **Produção de Xilitol em um biorreator a membrana.**

AUTOR:

➤ **Faria, 2000.**



Resultados:

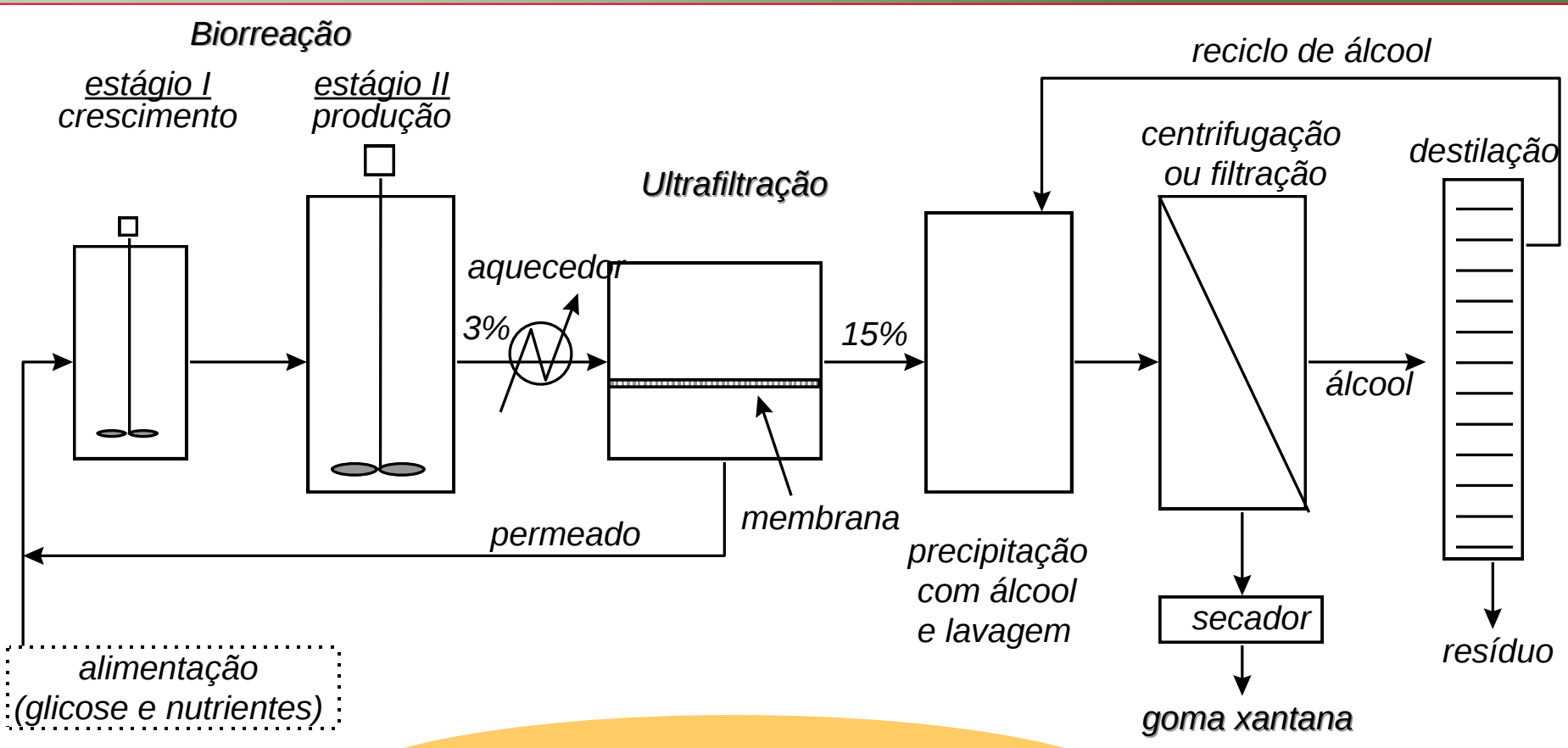
**rendimento 18 % superior
produtividade 40% superior**

TÍTULO:

➤ Uso de membrana de ultrafiltração para concentração de goma xantana durante a fermentação de glicose por *Xanthomonas campestris*.

AUTOR:

➤ Lo et Al., 1997.



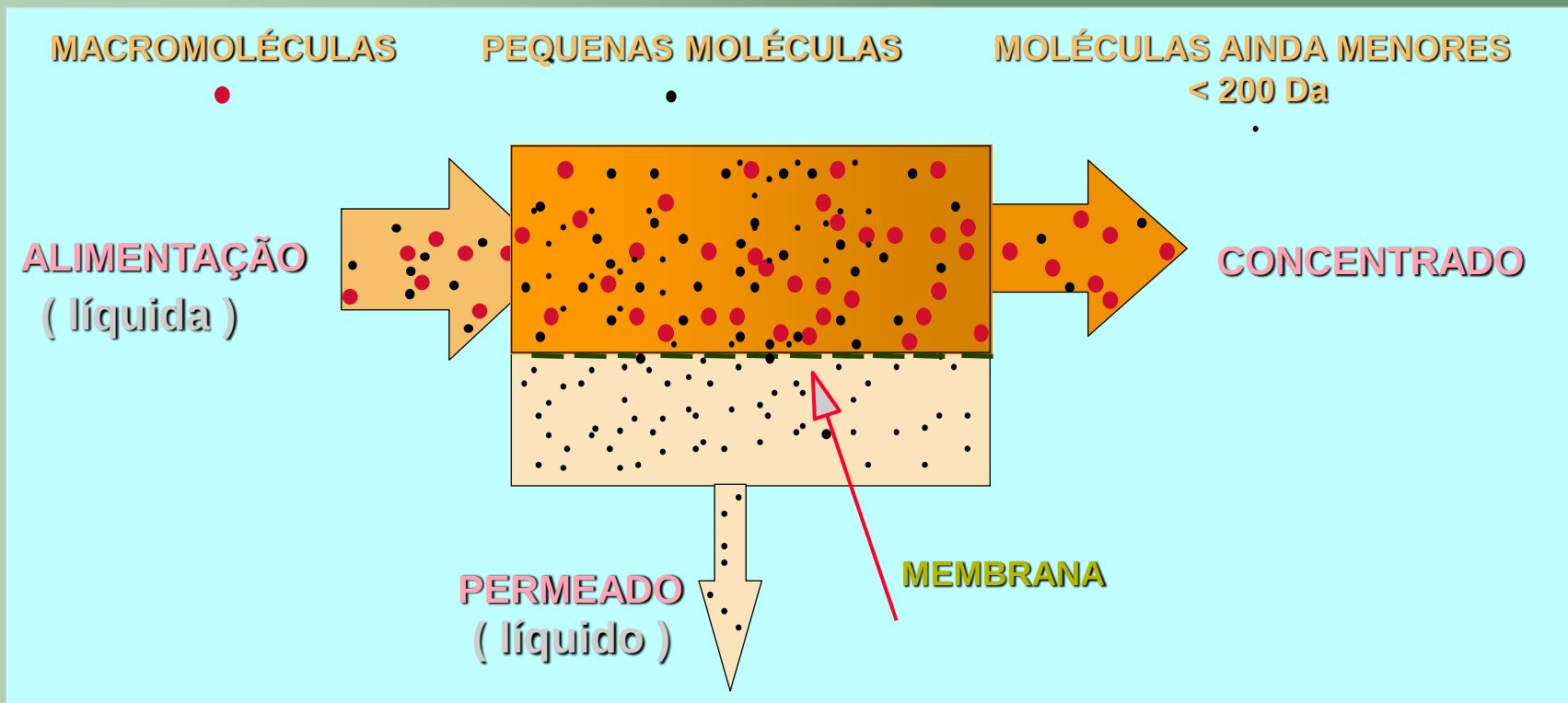
**Redução de 45% dos custos
totais de recuperação de xantana**

Resultados:

NANOFILTRAÇÃO

FORÇA MOTRIZ $\rightarrow \Delta P$ ($10 < 20$ bar)

TRANSPORTE CONVECTIVO/DIFUSIVO



APLICAÇÕES

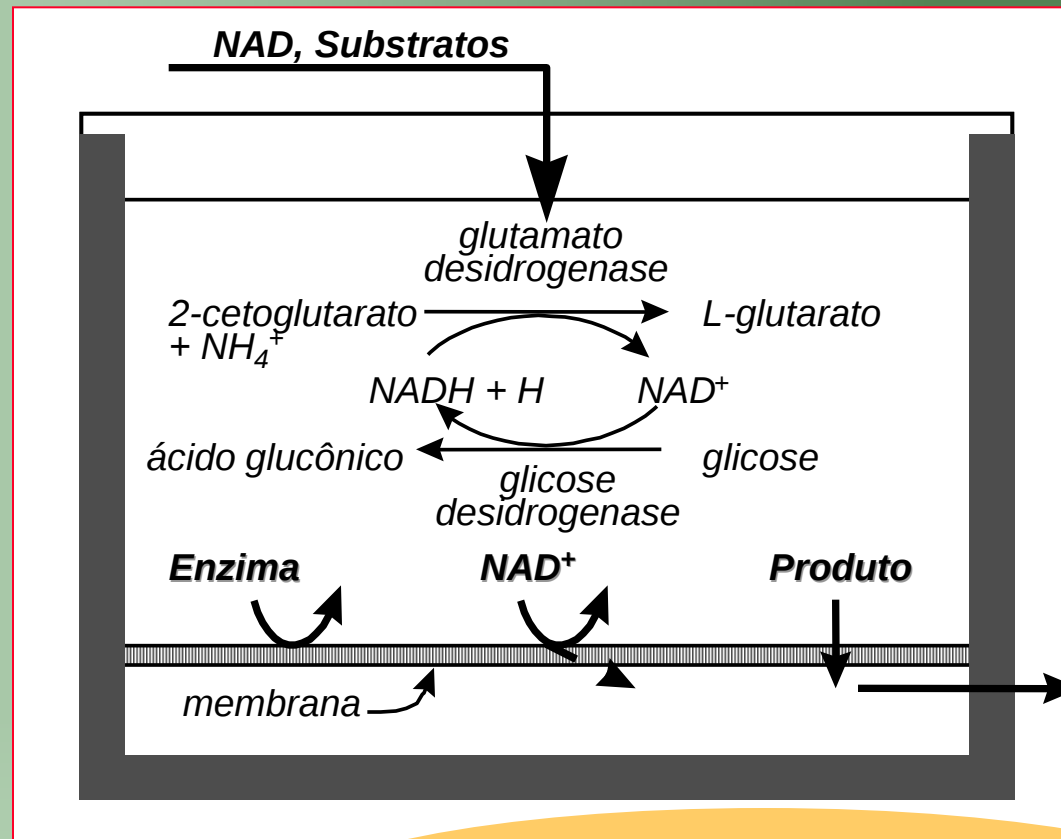
- **Desmineralização de soluções.**
- **Concentração de soro de Leite**
- **Recuperação de íons monovalentes.**
- **Recuperação ácidos orgânicos.**

TÍTULO:

↳ **Produção de glutarato estereoespecífico utilizando membrana de nanofiltração para reciclo de coenzima.**

AUTOR:

↳ **LIN, 1997.**



Resultados:

**conversão de 90 %
produtividade de 120g/L.d**

TÍTULO:

⇒ Uso de nanofiltração para concentrar e desmineralizar soro de queijo.

AUTOR:

⇒ Eurodia/Ameridia – Irlanda, 2002.

Composição típica das diferentes correntes do tratamento do soro por nanofiltração

	Raw whey	Concentrated whey	Permeate	Losses
Total solids	6.5 %	18.5 %	0.37 %	
Total protein [% TS]	12.8	13.5	0	0
NPN [% TS]	0.5	0.36	4.32	31%
Lactose [% TS]	74.4	77.0	26.2	1.3%
Organic acids [% TS]	3.4	3.37	4.9	5%
Ashes [% TS]	7.7	5.3	68.8	28%
Fat [% TS]	0.7	0.8	0	0

TÍTULO:

⇒ **Uso de nanofiltração para concentrar e desmineralizar soro de queijo.**

AUTOR:

⇒ **Eurodia/Ameridia – Irlanda, 2002.**

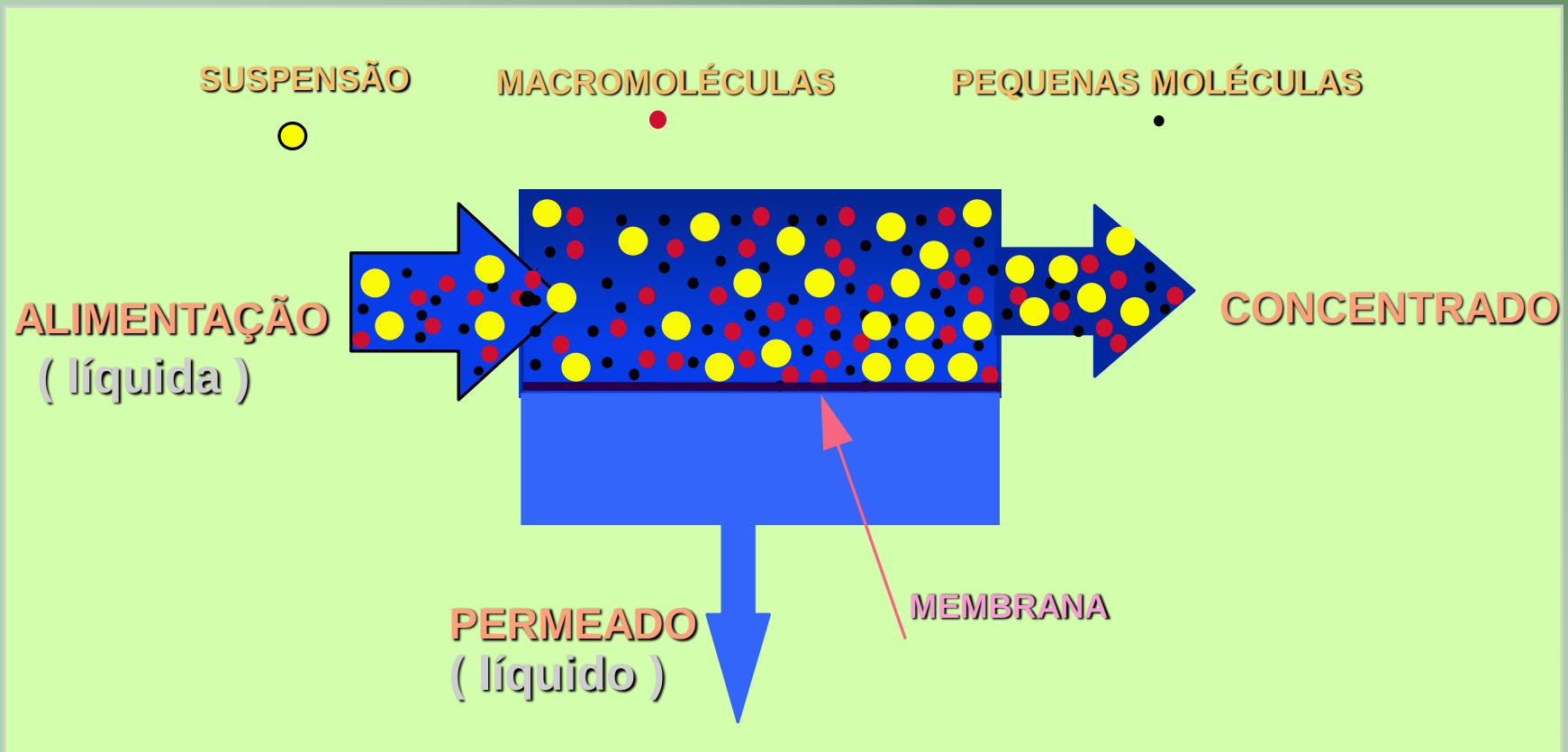
Composição típica das “cinzas” das correntes do tratamento do soro por nanofiltração

	Raw whey	Concentrated whey	Permeate	Losses
Ca [%TS]	0.42	0.41	0.7	6%
Mg [%TS]	0.12	0.12	0.21	6%
Na [%TS]	0.61	0.38	6.5	40%
K [%TS]	2.36	1.48	25.2	40%
S [%TS]	0.16	0.15	0.55	12%
P [%TS]	0.62	0.57	2.05	12%
Cl [%TS]	1.44	0.68	21.1	54%

OSMOSE INVERSA

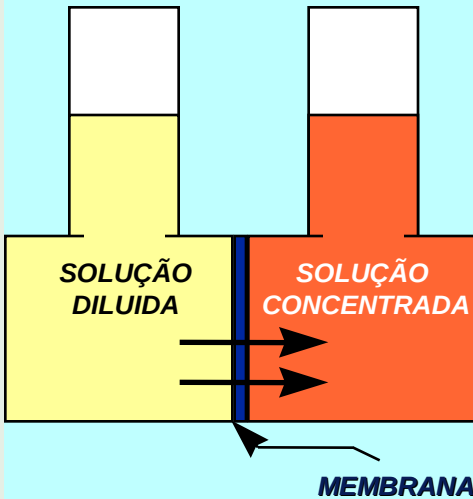
FORÇA MOTRIZ $\rightarrow \Delta P (< 80 \text{ bar})$

TRANSPORTE “DIFUSIVO”

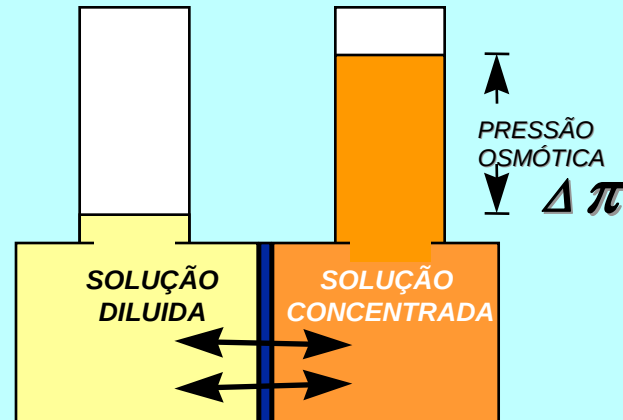


Princípios do Fenômeno: Osmose, Equilíbrio Osmótico e Osmose Inversa.

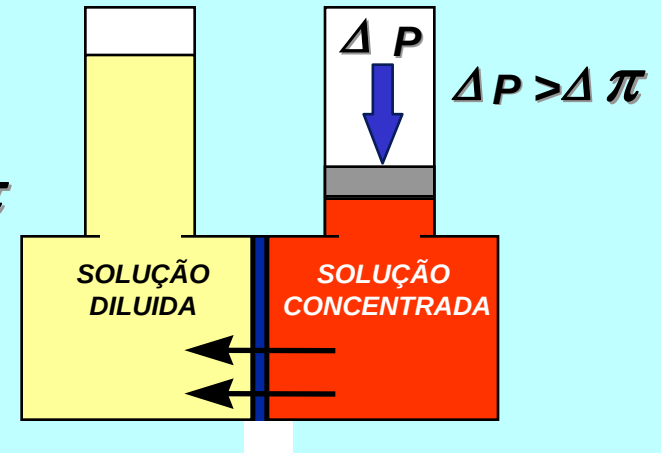
a) FLUXO OSMÓTICO



b) EQUILÍBRIO OSMÓTICO



c) OSMOSE INVERSA



a) -O solvente deixa o lado mais diluído e passa através da membrana para o lado mais concentrado até atingir o equilíbrio termodinâmico.

-O fluxo ocorre porque as moléculas de solvente tem maior potencial químico na fase diluída que na fase concentrada.

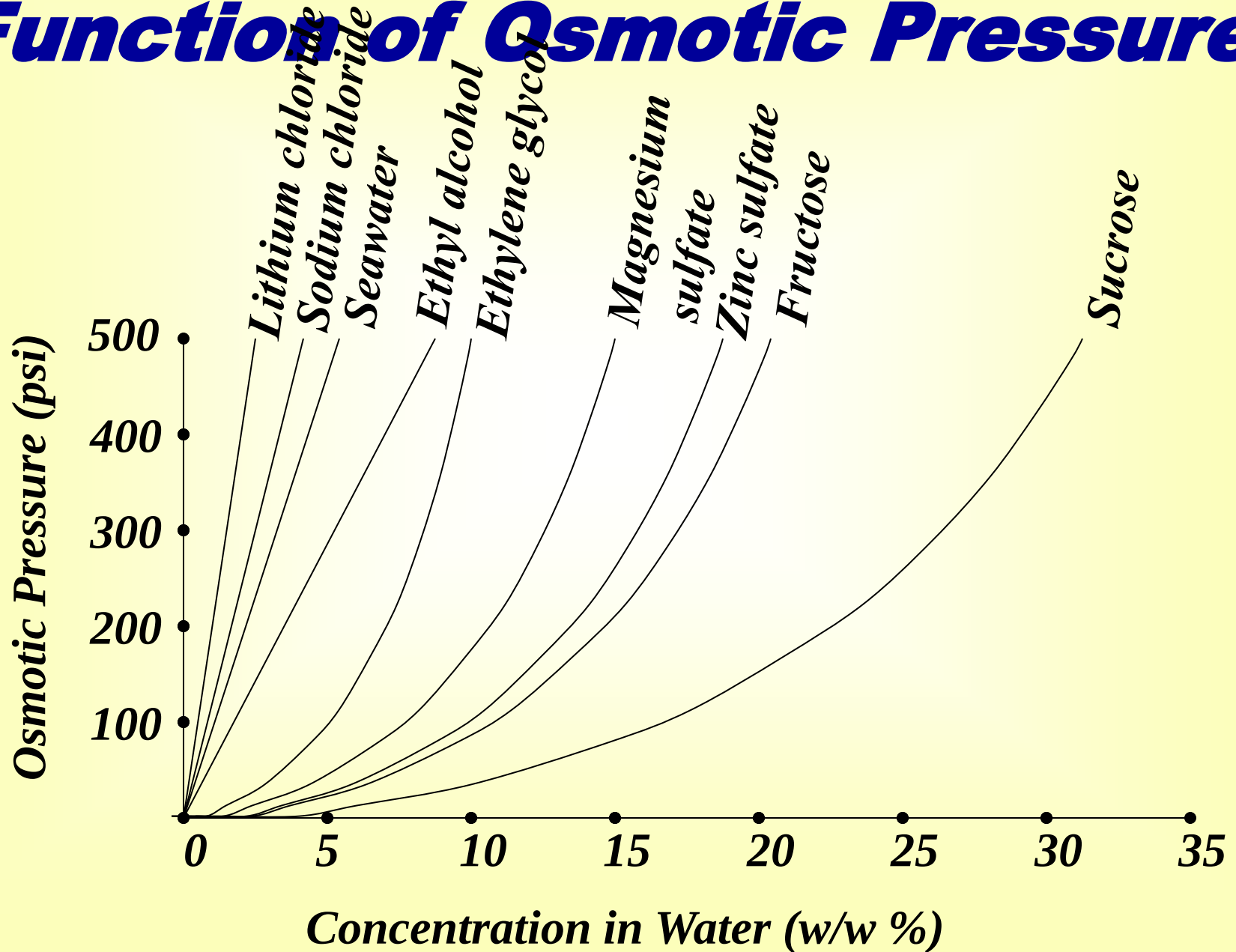
b) Este processo continua até que o equilíbrio osmótico seja alcançado (potenciais químicos iguais).

-A diferença de Pressão Hidrodinâmica entre as duas fases é chamada de Pressão Osmótica.

c) Sob pressões superiores a pressão osmótica o fluxo do solvente inverte o sentido:

“PROCESSO DE OSMOSE INVERSA”

Solute Concentration as a Function of Osmotic Pressure



Typical Osmotic Pressures (25°C)

Compound	Conc. (mg/L)	Conc. (mol/L)	Osmotic Pressure (psi)
NaCl	35,000	0.6	398
NaCl	1,000	0.0171	11.4
NaHCO ₃	1,000	0.0119	12.8
Na ₂ SO ₄	1,000	0.00705	6
MgSO ₄	1,000	0.00831	3.6
MgCl ₂	1,000	0.0105	9.7
CaCl ₂	1,000	0.009	8.3
Sucrose	1,000	0.00292	1.05
Dextrose	1,000	0.00555	2.0

Pressões Osmóticas de Algumas Soluções

Exemplo	Pressão Osmótica, π, (Bar)
Solução contendo 3%, em peso, de NaCl (M=58,45)	25,4
Solução contendo 3%, em peso, de Albumina (M = 65.000)	0,01
Suspensão contendo 30g/l de um sólido (partículas de $1\text{ng} = 10^{-9} \text{ g}$)	10^{-12}

APLICAÇÕES

➤ Tratamento de Águas:

- *Dessalinização de águas Marinhas e Salobras*
- *Pré Tratamento de água de caldeira*
- *Reciclo de águas de processo*
- *Tratamento de águas duras*

➤ Recuperação de Produtos e Insumos:

- *Rec.de açúcares e ácidos de águas de lavagem de frutas*
águas de lavagem de frutas
- *Rec.de insumos cáusticos utilizados para retirar a pele de frutas.*

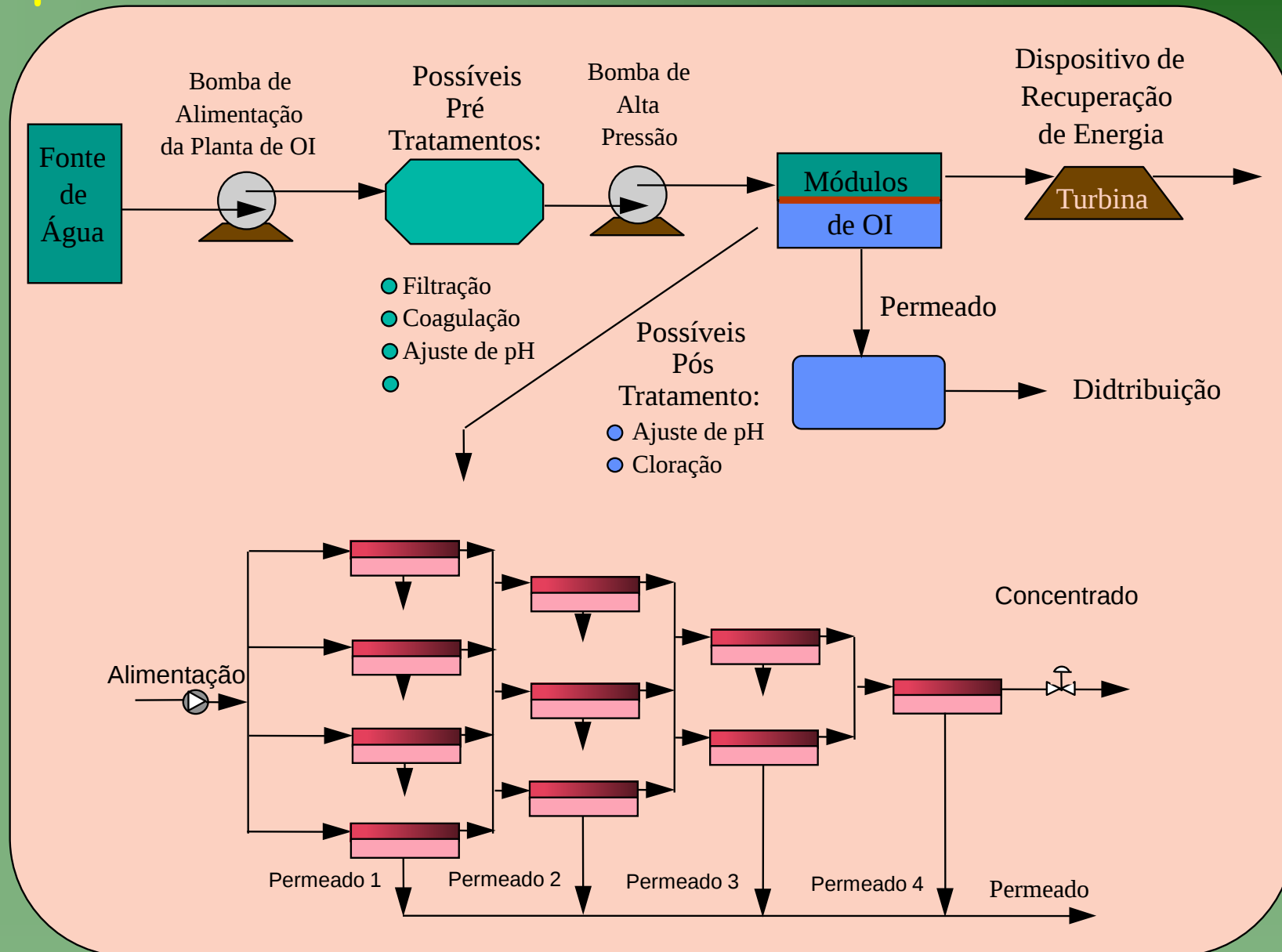
➤ Concentração de Produtos.

- *Concentração de sucos (tomate, laranja, etc)*
- *Concentração e leite e de soro de queijo.*
- *Concentração de antibióticos.*

➤ Fracionamentos.

- *Clarificação de suco de frutas.*
- *Recuperação de aromas, fragrâncias, pectinas e proteínas.*
- *Remoção do limoneno do suco de*
- *Remoção de álcool do vinho*

Fluxograma Típico de um Processo de Dessalinização de Água por Osmose Inversa



Processos de Separação por Membranas

Plano de Aulas:

- ✓ *Considerações Gerais – Introdução*
- ✓ *Breve Histórico*
- ✓ *Morfologia de Membranas*
- ✓ *Força Motriz e Mecanismos de Transporte em Membranas*
- ✓ *Mercado*
- ✓ *Síntese de Membranas*
- ✓ *Caracterização de Membranas*
- ✓ *Fabricação de Membranas e Módulos de Permeação*
- ✓ *Principais Processos de Separação com Membranas*
- ✓ *Fouling e Polarização de Concentração*
- ✓ *Exemplos de Aplicações de Processos com Membranas*

PRÓXIMA AULA:

DIÁLISE

ELETRODIÁLISE

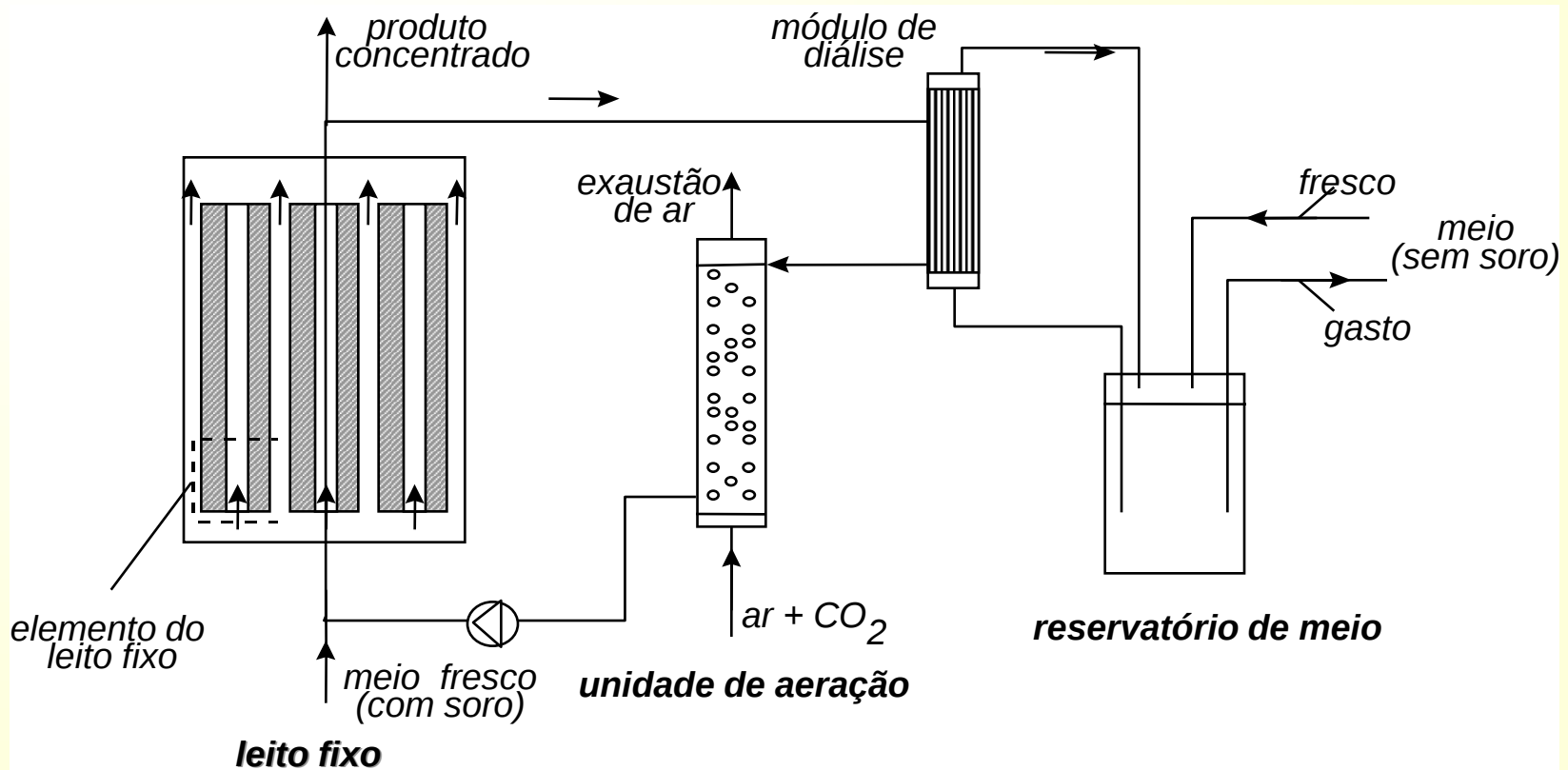
PERMEAÇÃO GASOSA

PERVAPORAÇÃO

NOVOS PROCESSOS DE SEPARAÇÃO

Bohmann et.al.(1995)

“Produção de anticorpos monoclonais através cultivo contínuo de células animais imobilizadas”

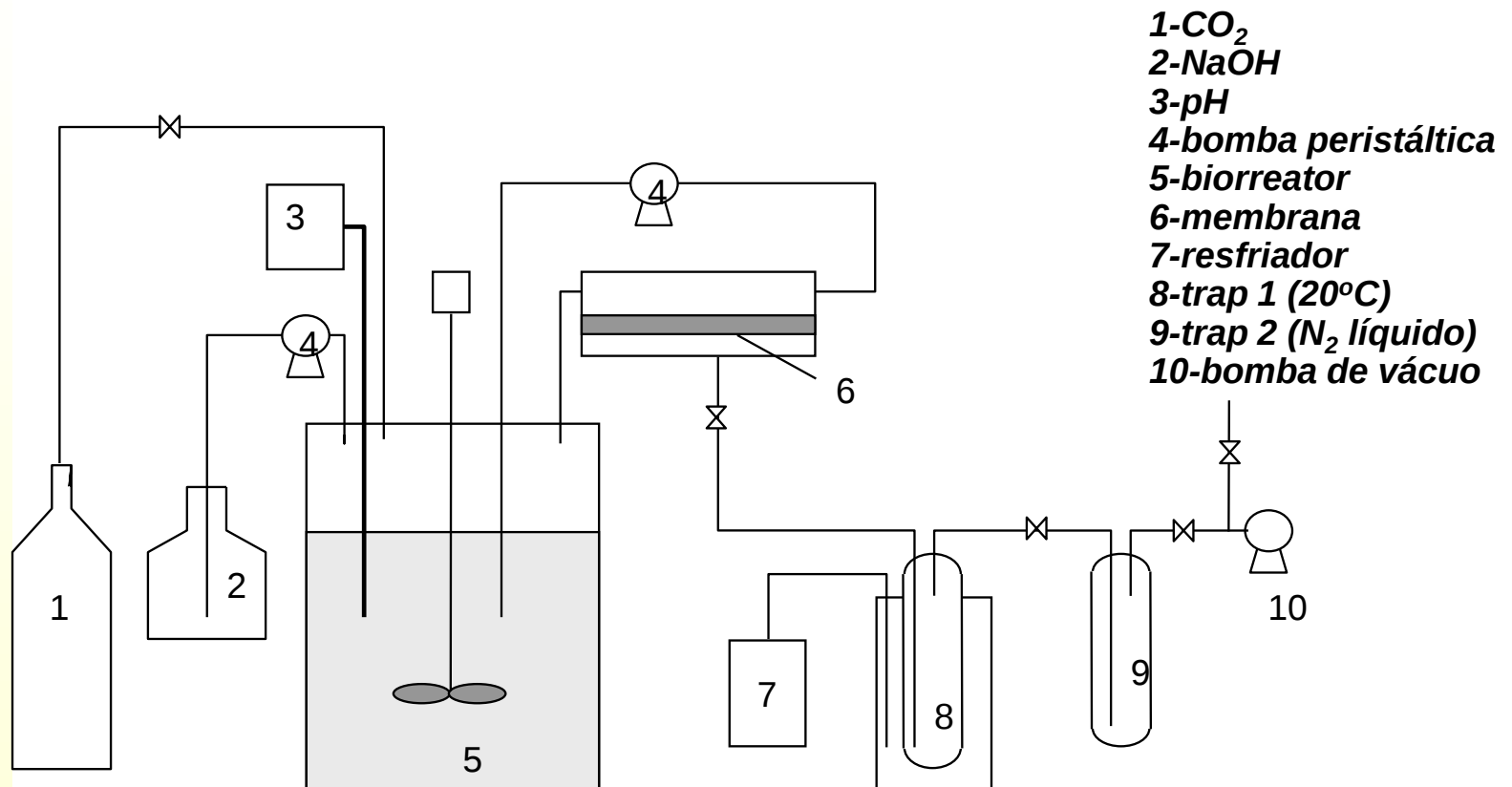


Resultados:

**concentração de produto 10 vezes superior
operação estável por 77 dias**

Mori e Inaba (1990)

“Produção de etanol a partir de amido por *Clostridium thermohydrosulfuricum* em um biorreator acoplado a Pervaporação”



Resultado:

Produtividade 2,3 vezes maior