

# Bioprocessos

---

José Gregório Cabrera Gomez  
jgcgomez@usp.br

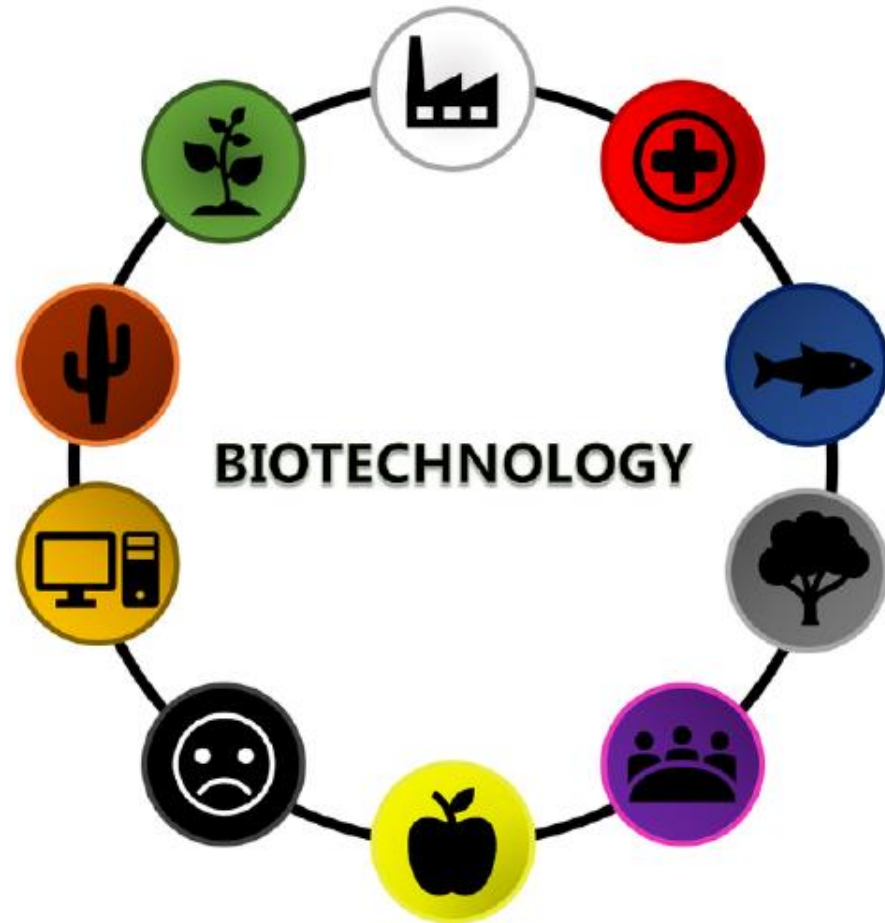


DEPARTAMENTO DE

**MICroBiologia**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**Biotechnology** is the branch of applied science that utilizes living organisms and their derivatives in order to produce products and processes. These products and processes can apply to several aspects of the economy ranging from healthcare and medicine to biofuels and environmental safety.



|               |   |
|---------------|---|
| <b>Red</b>    | Medicine and human health                     |
| <b>White</b>  | Industrial processes involving microorganisms |
| <b>Green</b>  | Processes improving agriculture               |
| <b>Blue</b>   | Marine biotechnology                          |
| <b>Yellow</b> | Food and nutrition                            |
| <b>Grey</b>   | Environmental biotechnology                   |
| <b>Gold</b>   | Bioinformatics, computer science              |
| <b>Brown</b>  | Biotechnology of desert and dry regions       |
| <b>Violet</b> | Law, ethics, philosophy                       |
| <b>Dark</b>   | Bioterrorism, biological warfare              |





# DRUGSTORE

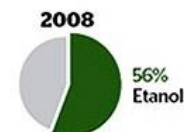
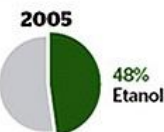


# Como funciona uma usina de álcool

Do canavial ao posto de gasolina, todas as fases da produção

## açúcar x álcool

A proporção de cana que vira etanol ou açúcar varia conforme o preço. Hoje, a vantagem é do etanol



**ENERGIA**  
O bagaço, adicionado à palha que foi recolhida na limpeza, abastece caldeiras de alta pressão, que alimentam turbinas e, assim, fornecem toda a eletricidade necessária ao funcionamento da usina. A sobra é vendida a concessionárias de eletricidade

### 1 CANA-DE-AÇÚCAR

Colhida entre fins de março e começo de dezembro no Estado de São Paulo. Na média, são 86 toneladas por hectare. O valor dessa matéria-prima está no teor de sacarose contido no caule da planta

### 2 SEPARAÇÃO E PESAGEM

Na entrada da usina, os caminhões são pesados, calculando-se a remuneração do fornecedor independente, assim como o valor que corresponde aos cortadores que trabalham na colheita manual

### 3 LIMPEZA

Restos de palha, gravetos, areia, pedriscos e terra são removidos por lavagem em esteiras contínuas. Essa água é reciclada e circula várias vezes, em circuito fechado. Hoje, o processo industrial consome menos de 20% da água que era necessária 30 anos atrás

### 4 PICADORES

Os caules são picados em toletes de comprimento mais ou menos regular, etapa importante para melhor aproveitamento do processo automático que vem a seguir

### 5 SEPARAÇÃO

Moendas separam o caldo, que nada mais é que a garapa vendida nas feiras livres. Sobram 250 quilos de bagaço por tonelada de cana

### 6 BANHO QUÍMICO

Começa o tratamento do caldo. A primeira parada é nos misturadores, onde se adicionam substâncias químicas que uniformizam o líquido e forçam o depósito, no fundo do tanque, dos traços de celulose que acompanharam o caldo

### 7 PURIFICAÇÃO

A seguir se retiram os aditivos químicos da fase anterior, que também são reciclados e aproveitados várias vezes. Na seqüência do processo industrial, entram somente substâncias naturais

### 8 FERMENTAÇÃO

Um dos grandes segredos do sucesso do etanol brasileiro, as cepas de enzimas que provocam a fermentação natural do caldo têm a missão de quebrar as moléculas de sacarose para que o mosto, obtido depois de um período que pode variar entre oito e 15 horas, ofereça a produtividade esperada

### 9 DESTILAÇÃO

Calor e alta pressão gerada nas caldeiras fazem o salto definitivo do processo físico-químico que libera o biocombustível. As torres de destilação são feitas de aço inoxidável e representam a parte mais sofisticada do equipamento da usina

### HIDRATADO

Na saída da destilação, o etanol traz uma porcentagem de água, na transformação química. Essa parte, geralmente entre 4% e 6%, integra o combustível chamado álcool hidratado

### ANIDRO

Álcool desidratado em processamento adicional, serve para a mistura de 23% na gasolina brasileira. Algumas usinas preferem desidratar todo o seu álcool e, depois, acrescentar água pura quando vendem uma partida de "hidratado"

### 10 ARMAZENAGEM E LOGÍSTICA

A rede brasileira de dutos é limitada. As usinas precisam de grandes instalações para armazenagem. Mais: o escoamento se faz basicamente por caminhões no Brasil, enquanto os Estados Unidos aproveitam hidrovias e uma gigantesca malha de dutos





### The Biodiesel Cycle







Foto: Niels Andreas



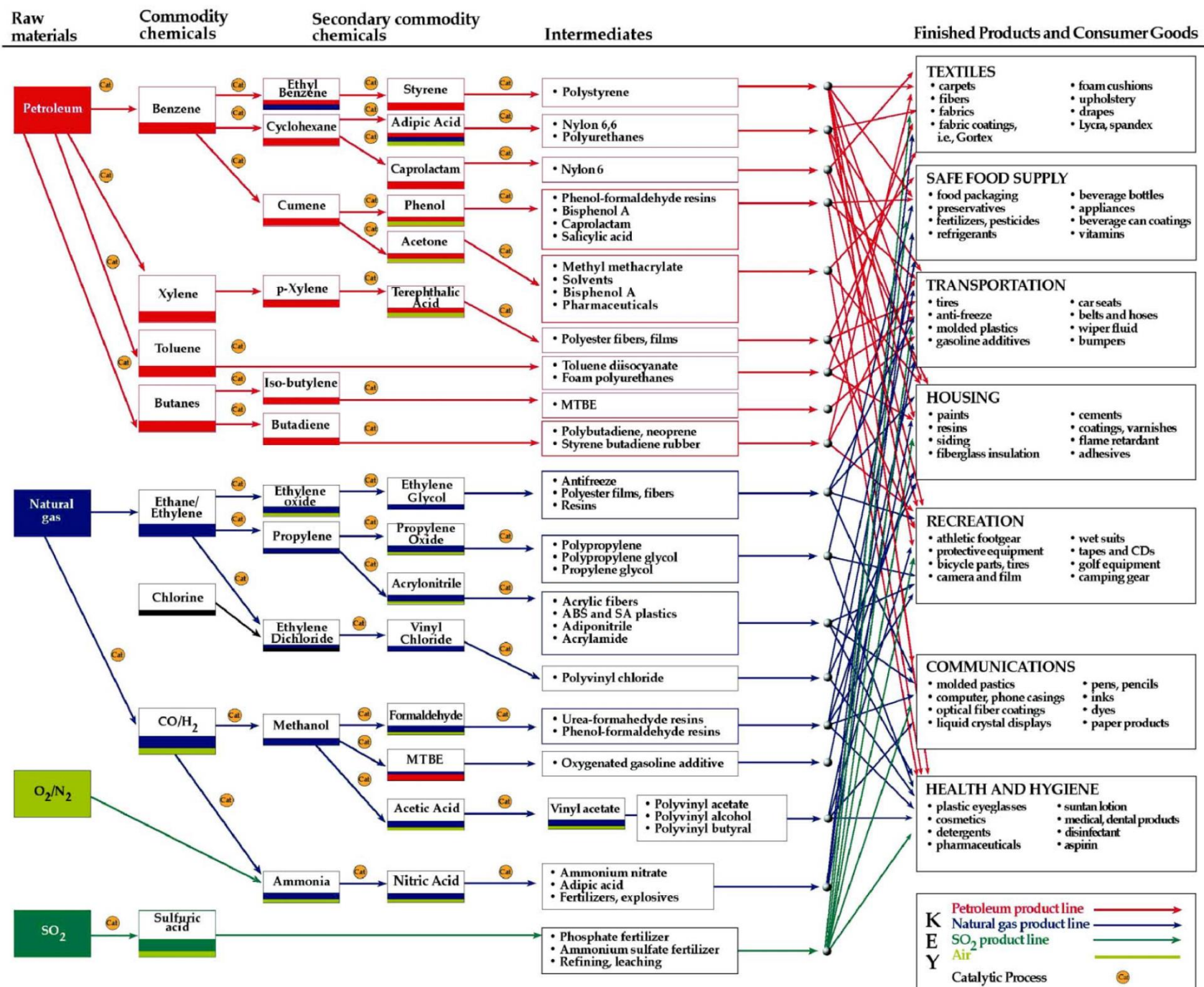


Figure 2 – An Example of a Flow-Chart for Products from Petroleum-based Feedstocks

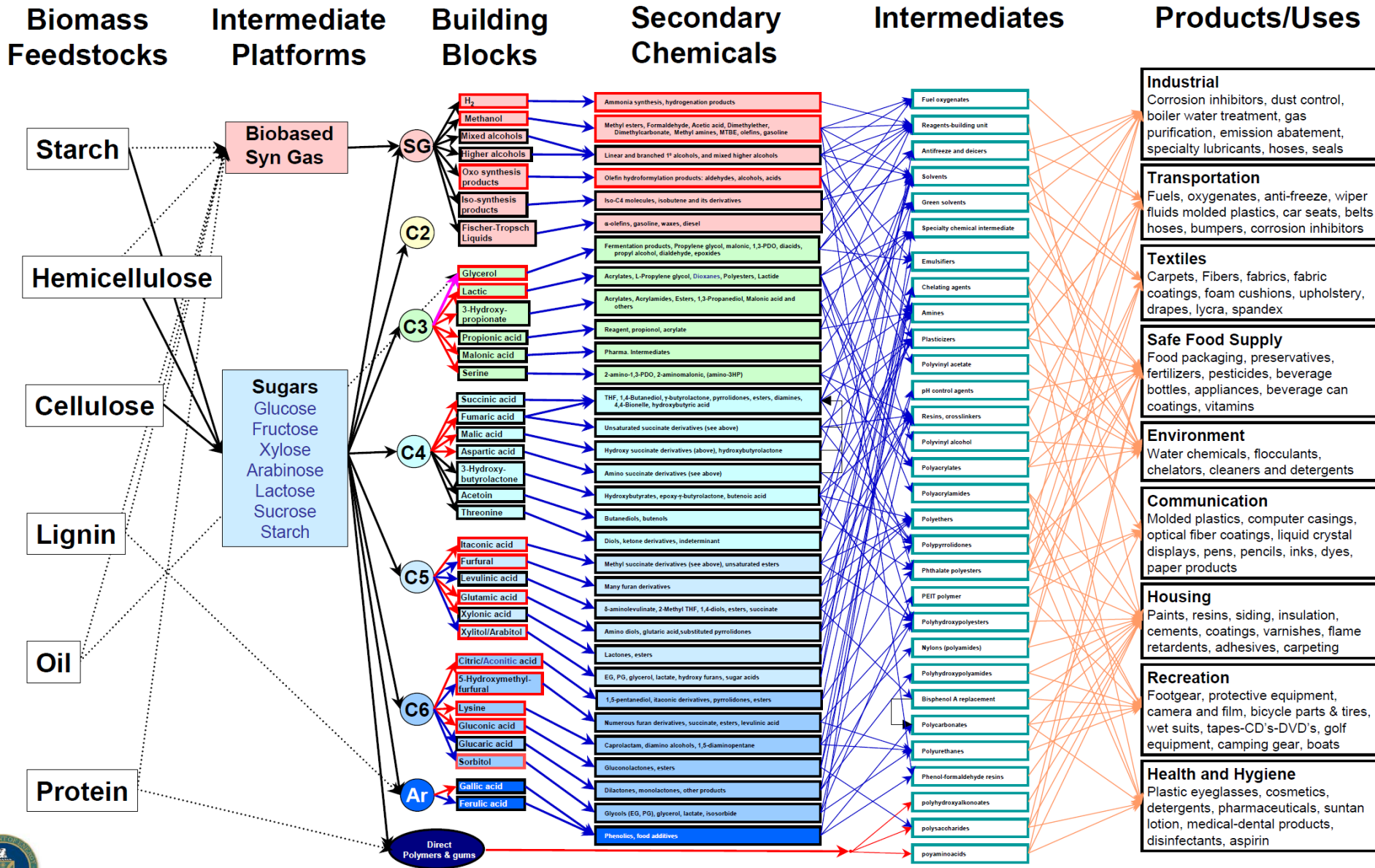
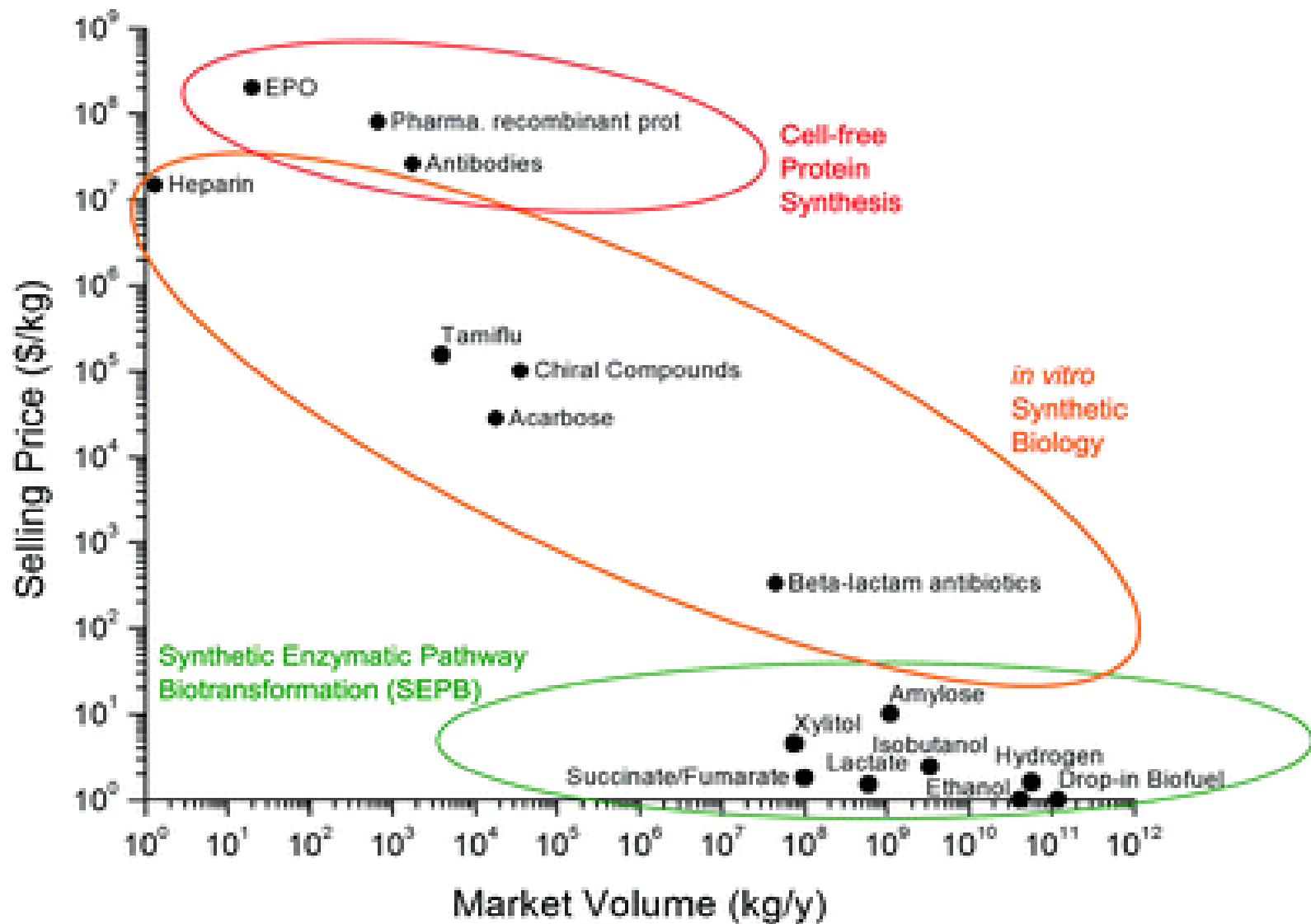
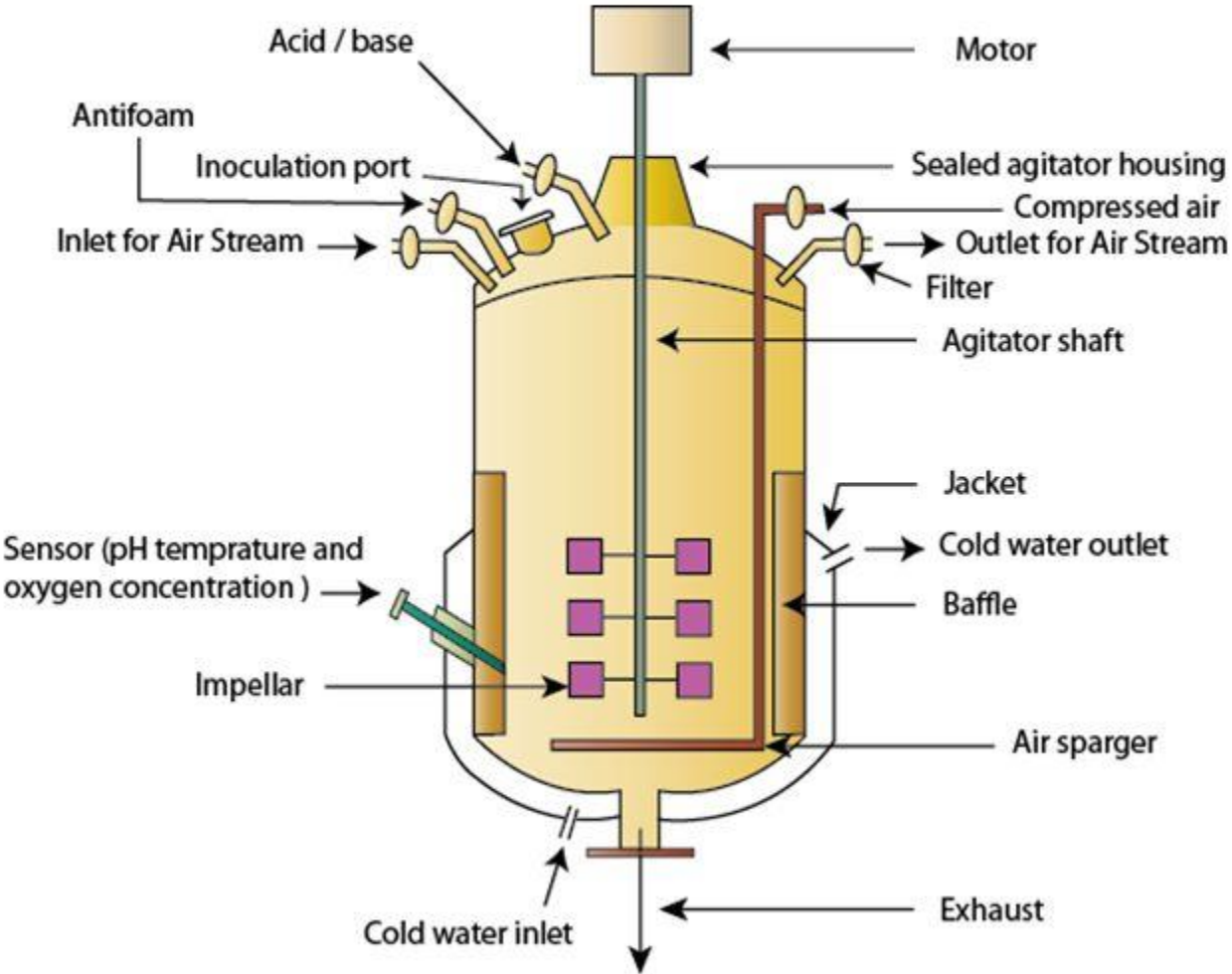
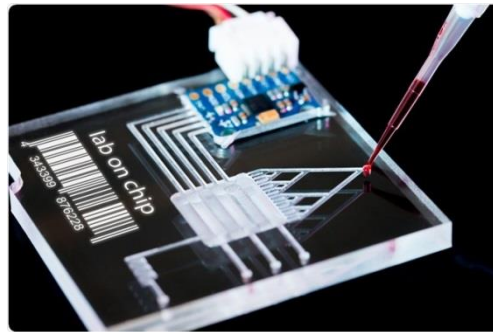


Figure 3 – Analogous Model of a Biobased Product Flow-chart for Biomass Feedstocks



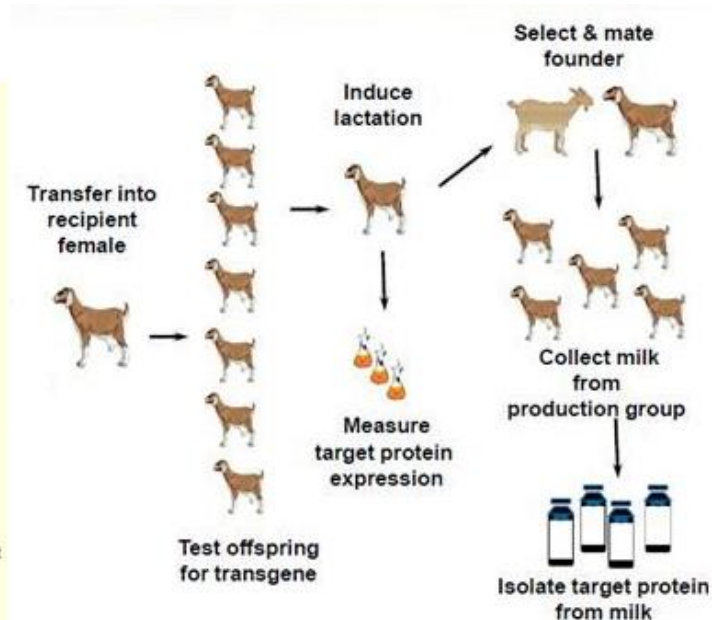
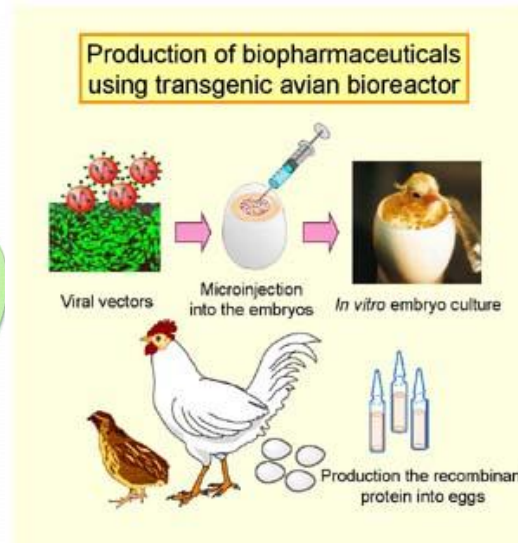
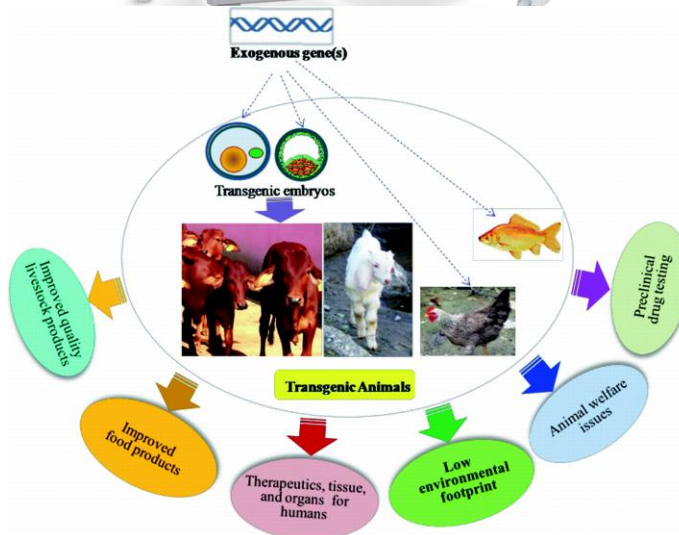
# Stirred Tank Bioreactor





Source: [www.plantbioreactor.co.in/images/00\\_112.jpg](http://www.plantbioreactor.co.in/images/00_112.jpg)

Plant as Bioreactor



# Bioprocesso

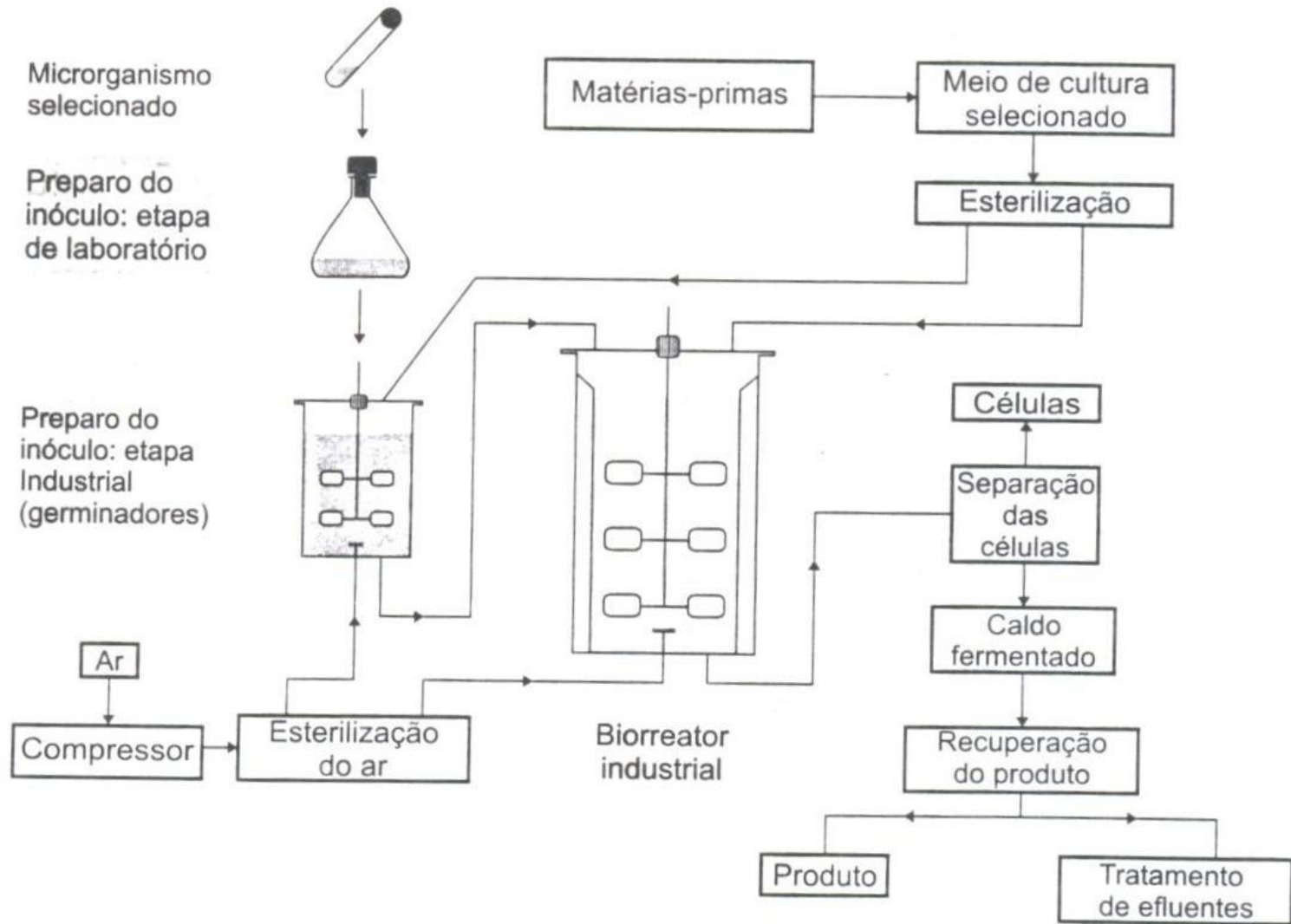
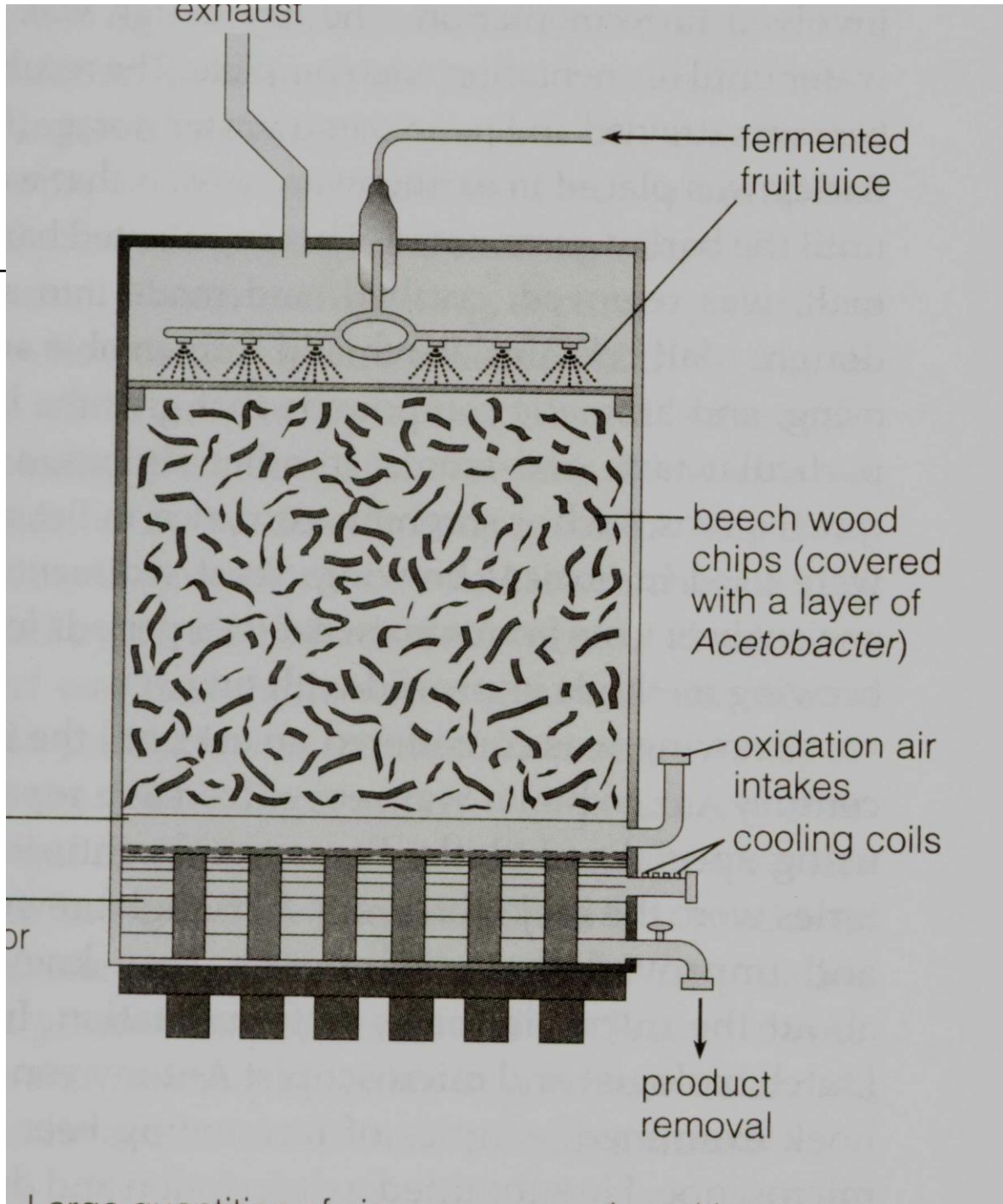
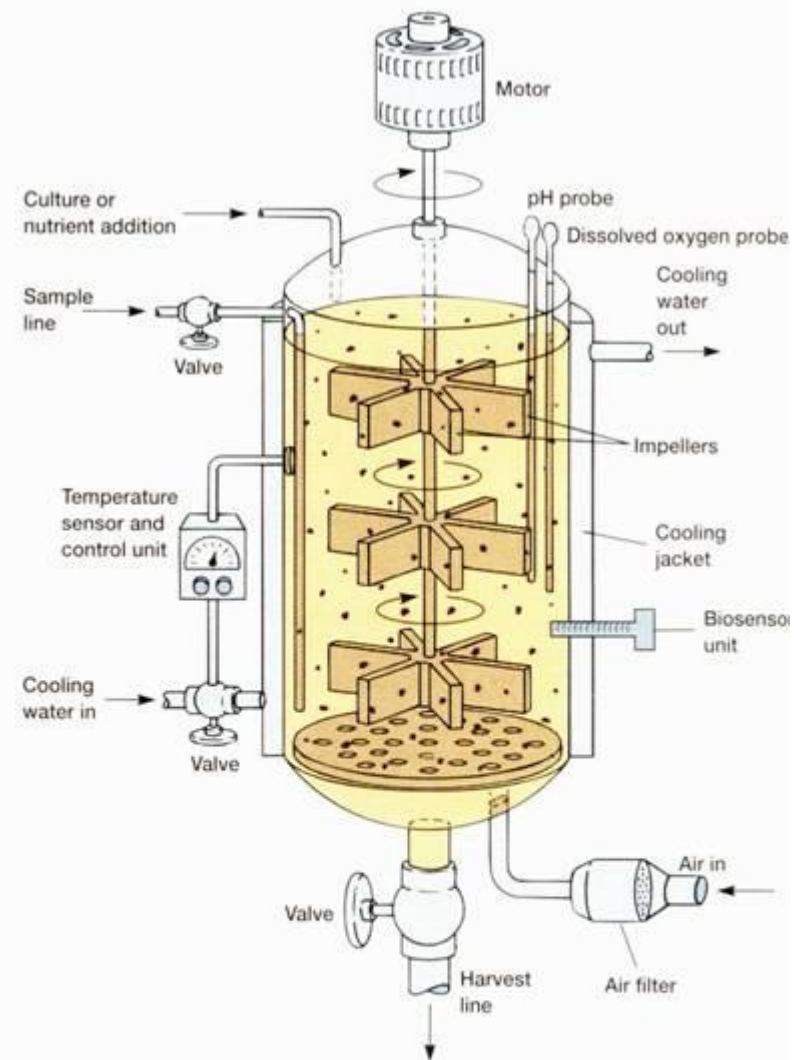


Figura 2.1 – Esquema geral de um processo fermentativo





# Biorreatores



**Figure 44.2 A Large-Scale Fermentation Unit.** For the growth of microorganisms in industrial processes, specially designed stirred fermenters often are used. These can be run under aerobic or anaerobic conditions. Nutrient additions, sampling, and fermentation monitoring can be carried out under aseptic conditions. Biosensors and infrared monitoring can provide real-time information on the course of the fermentation. Specific substrates, metabolic intermediates, and final products can be detected.

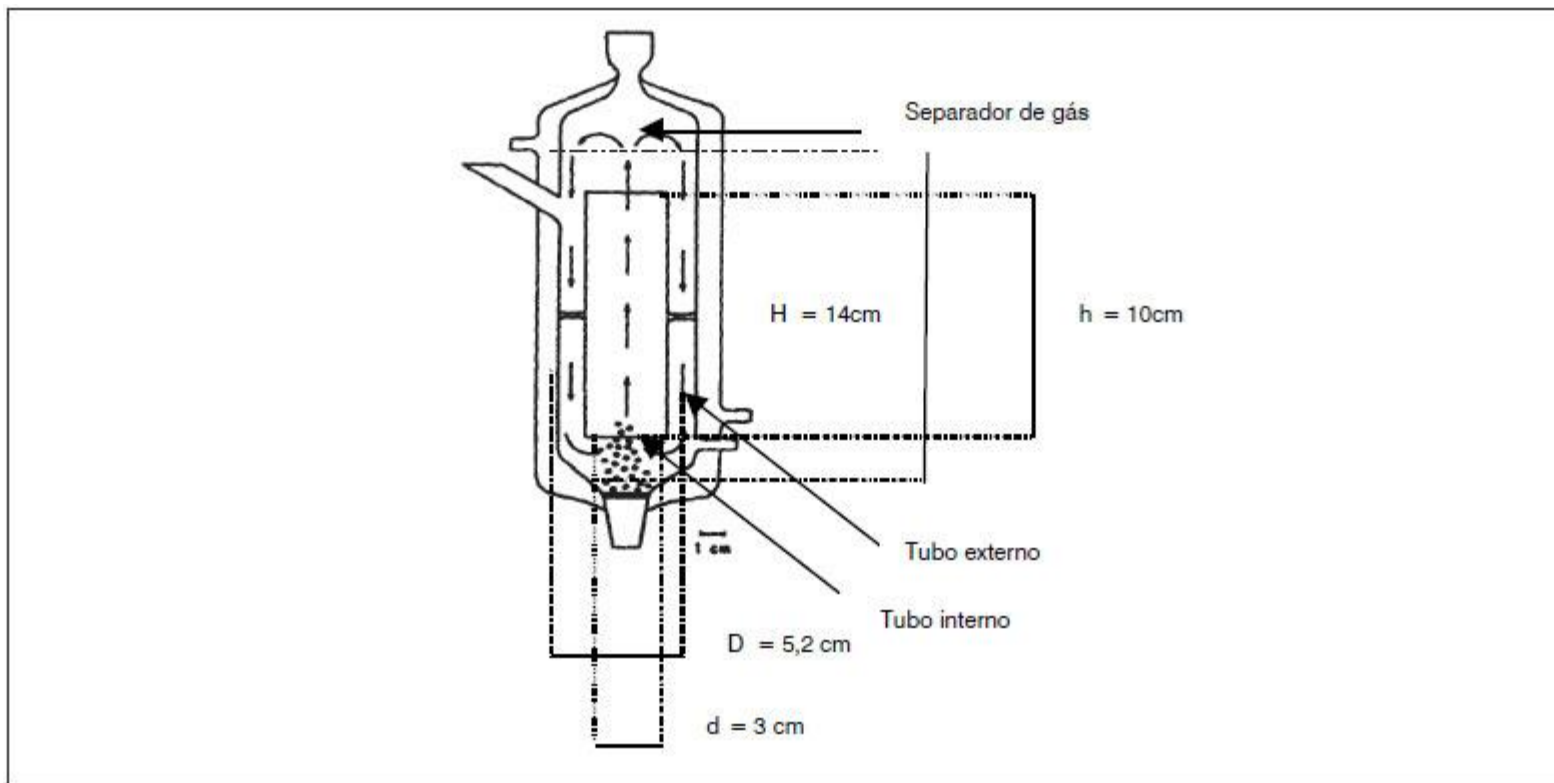
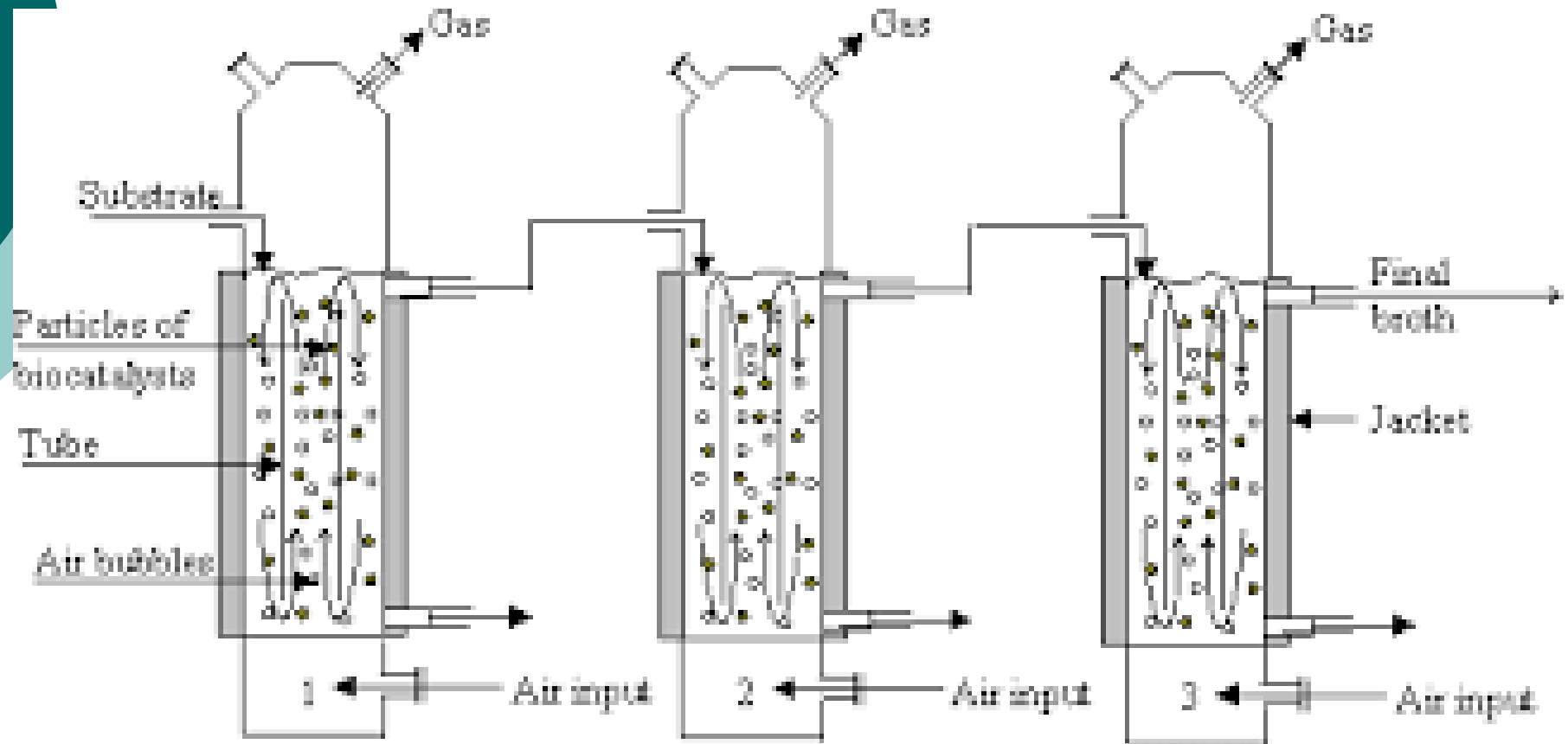
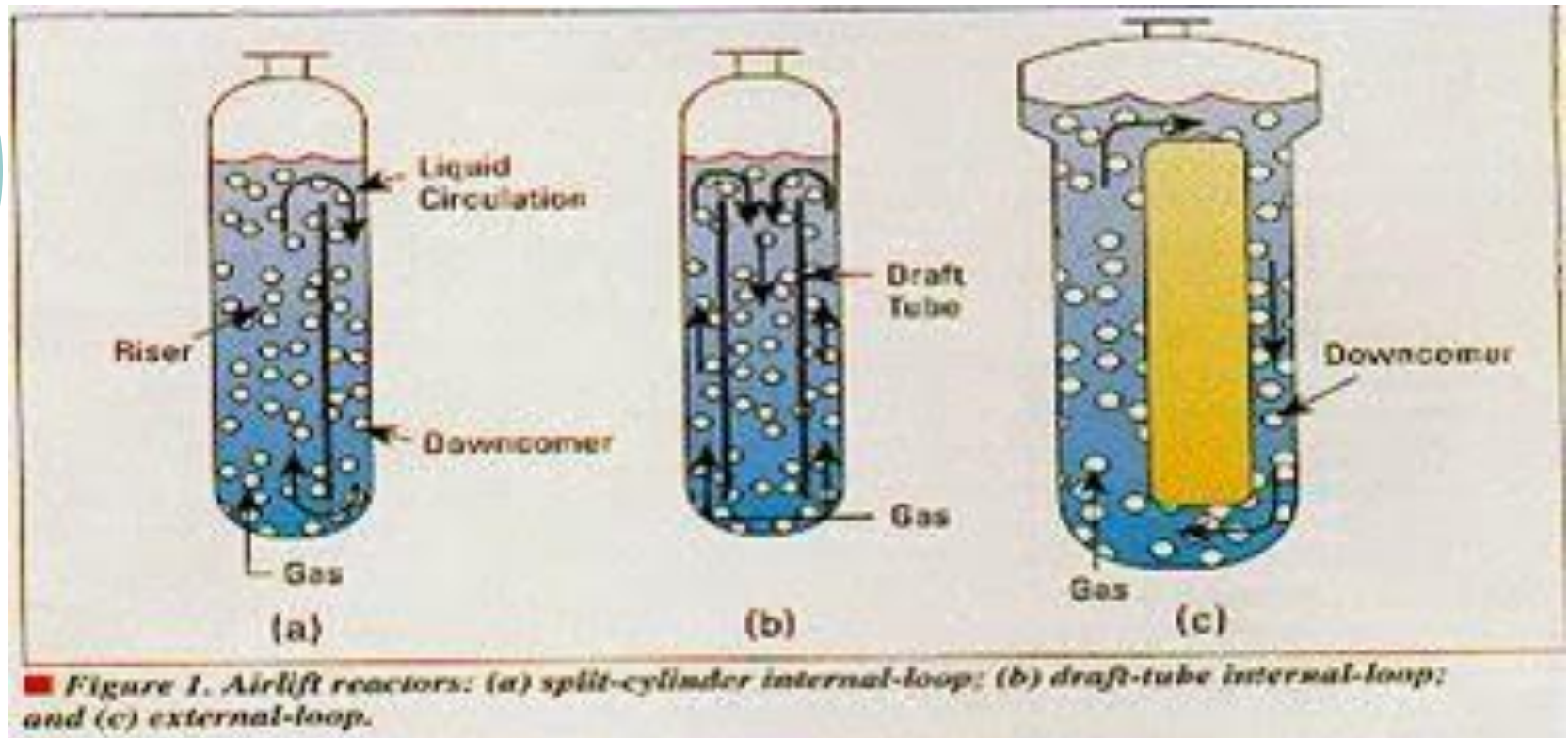


Figura 1 - Esquema do biorreator *air-lift*.

# Biorreatores

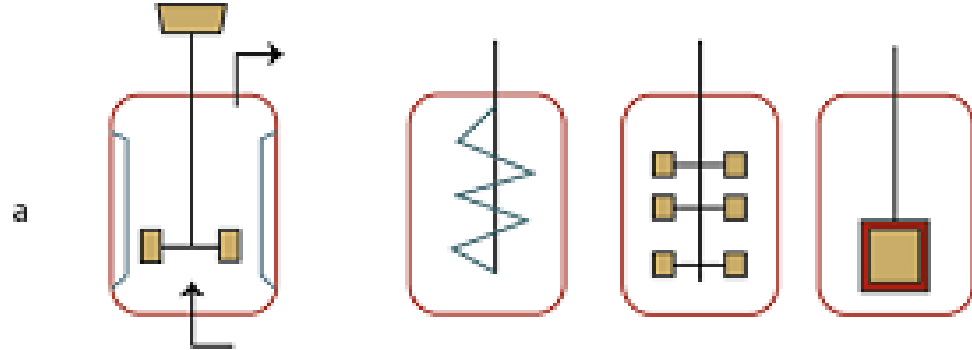


# Biorreatores

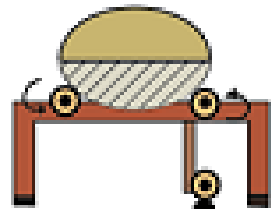




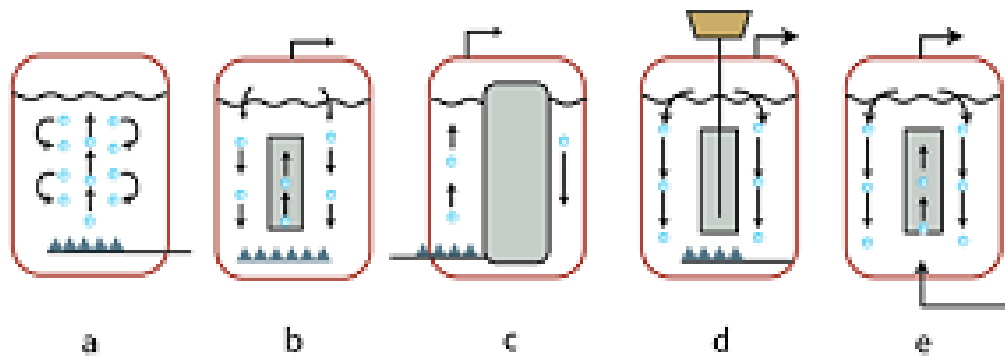
A



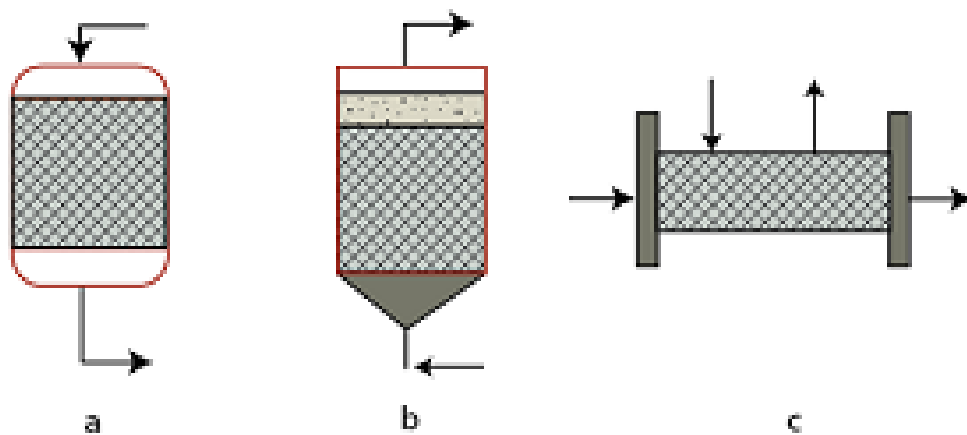
b



B

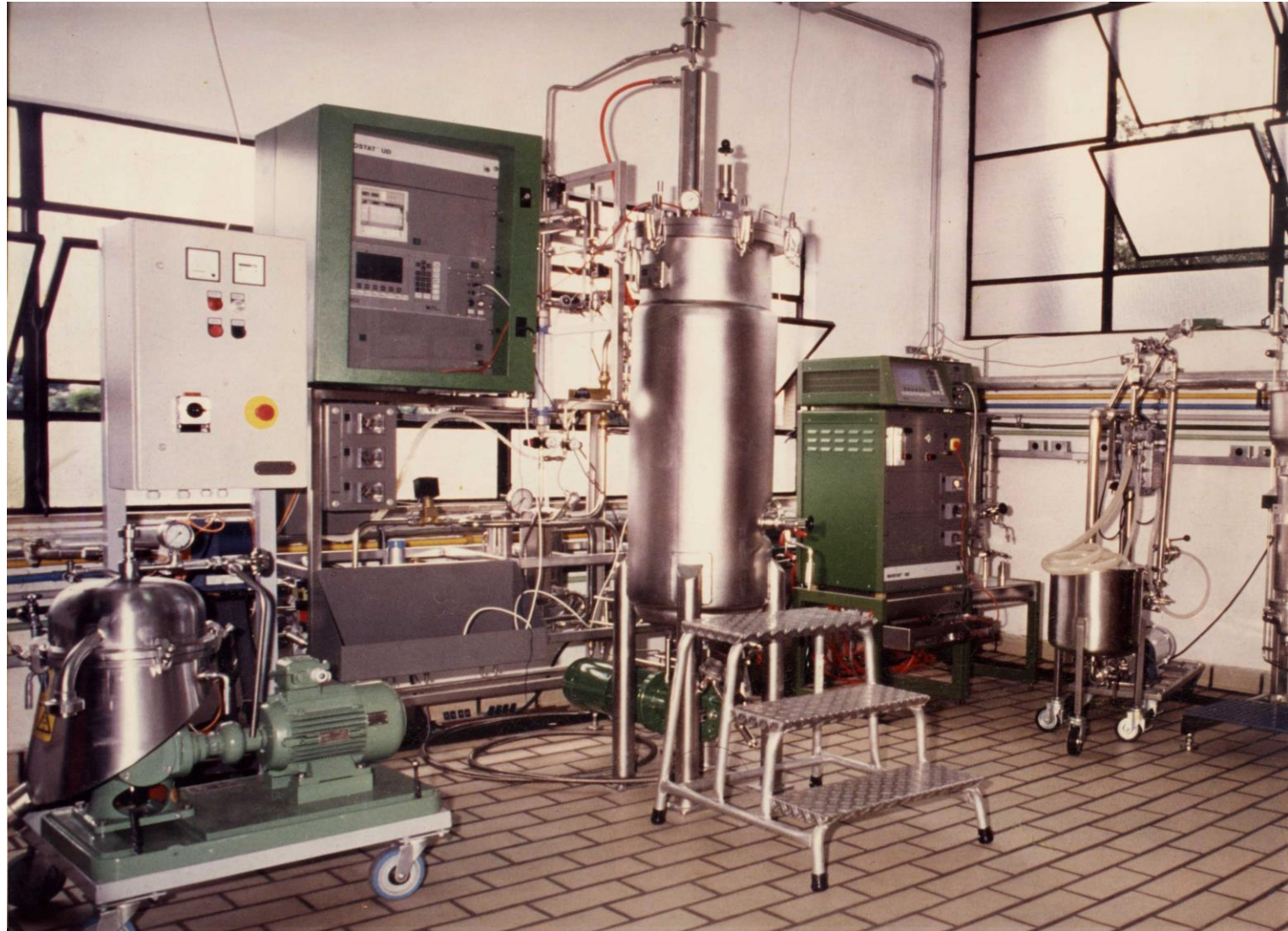


C





# Biorreator





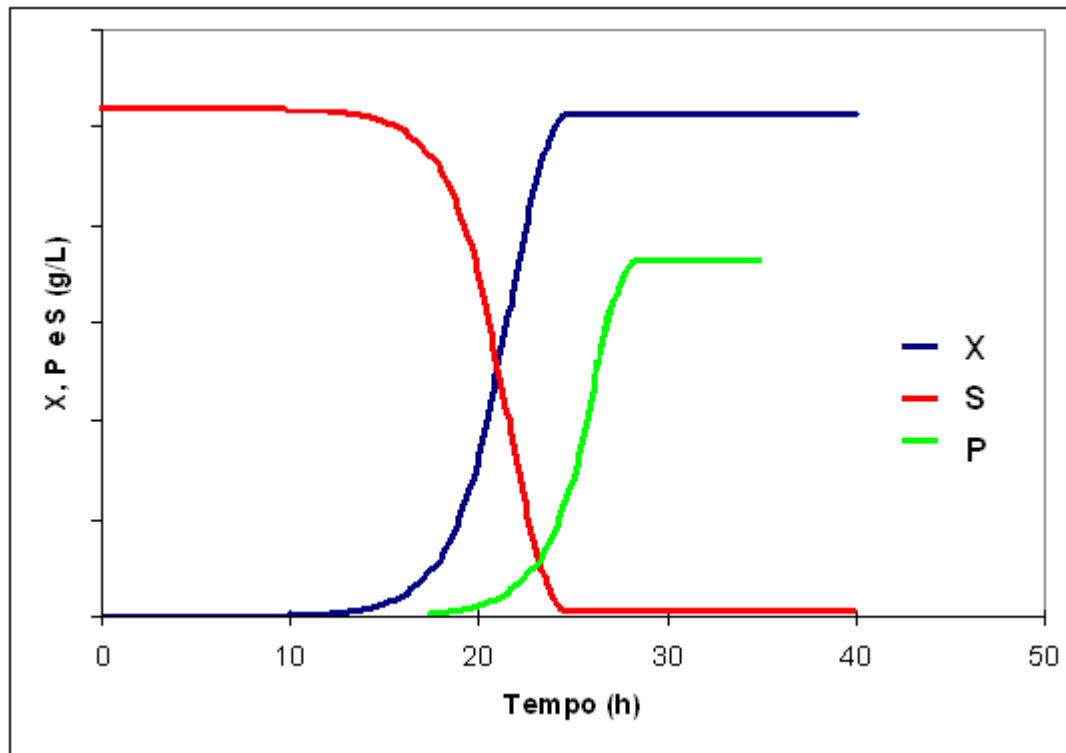






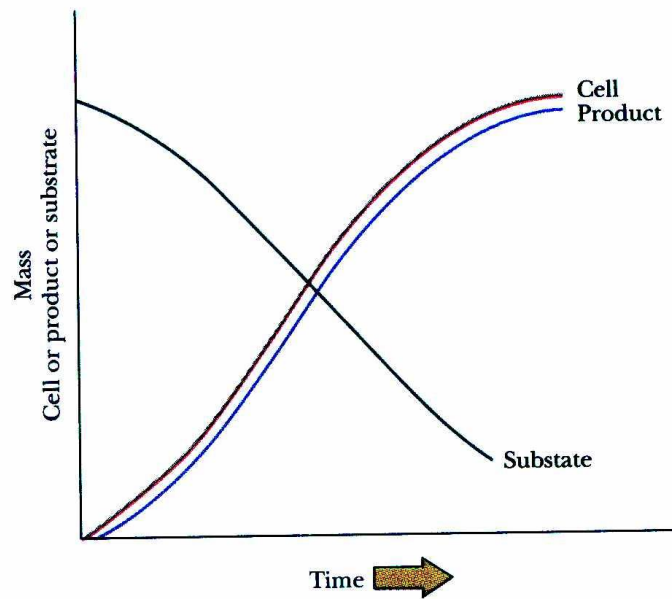
# Parâmetros de cultivo

## X, P e S

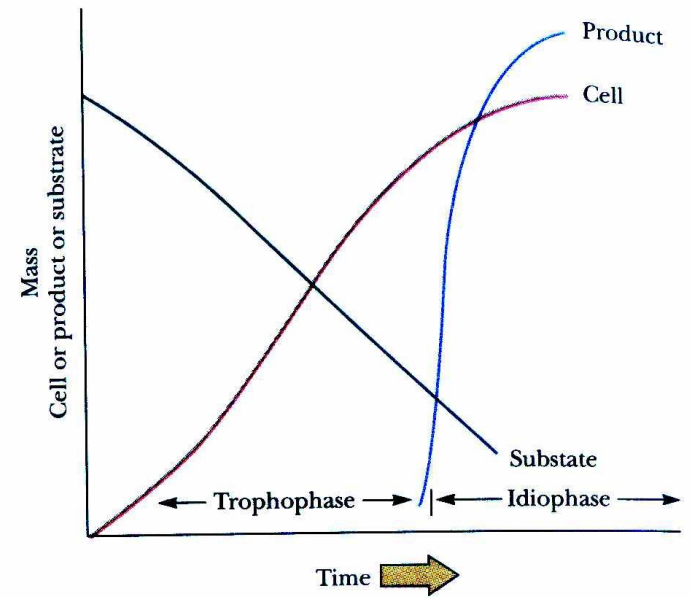


# Parâmetros de cultivo

## X, P e S



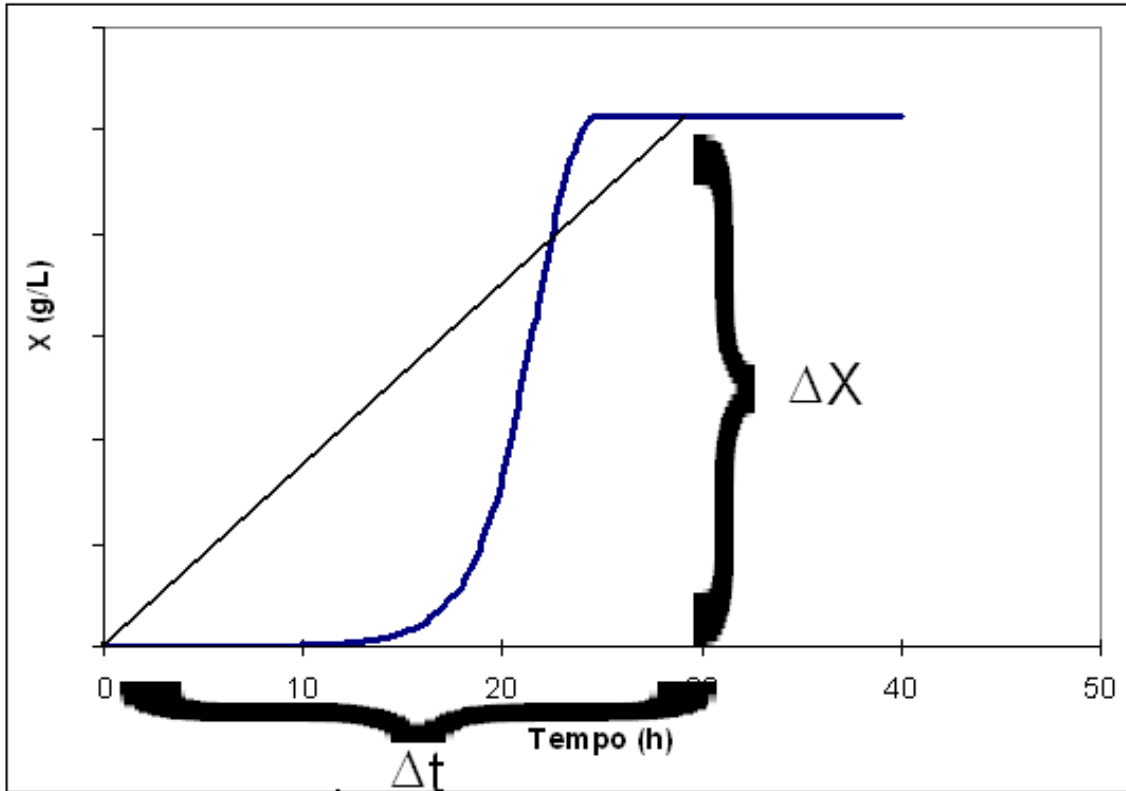
(a)



(b)

**Figure 32.1** Time course for substrate utilization, increase in cell mass, and production of (a) primary metabolites and (b) secondary metabolites.

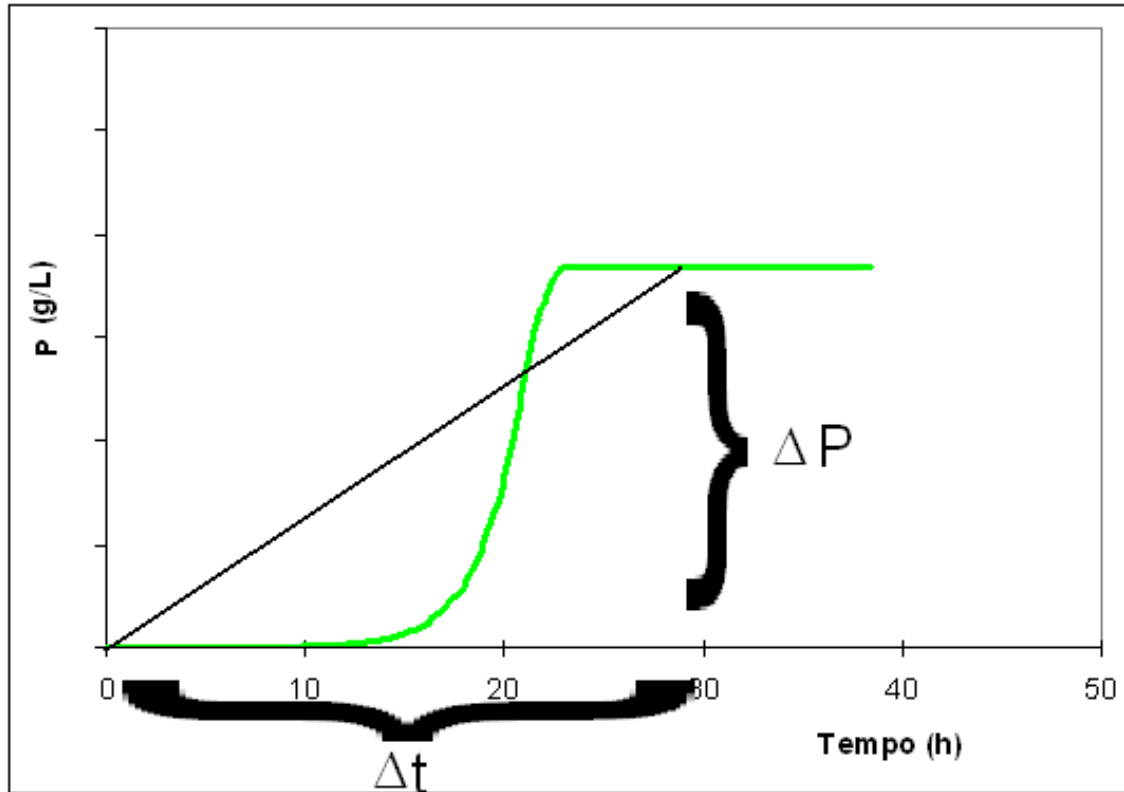
# Parâmetros de cultivo velocidades (Produtividades)



$$V = \frac{\Delta X}{\Delta t}$$

$$P = \frac{\Delta X}{\Delta t}$$

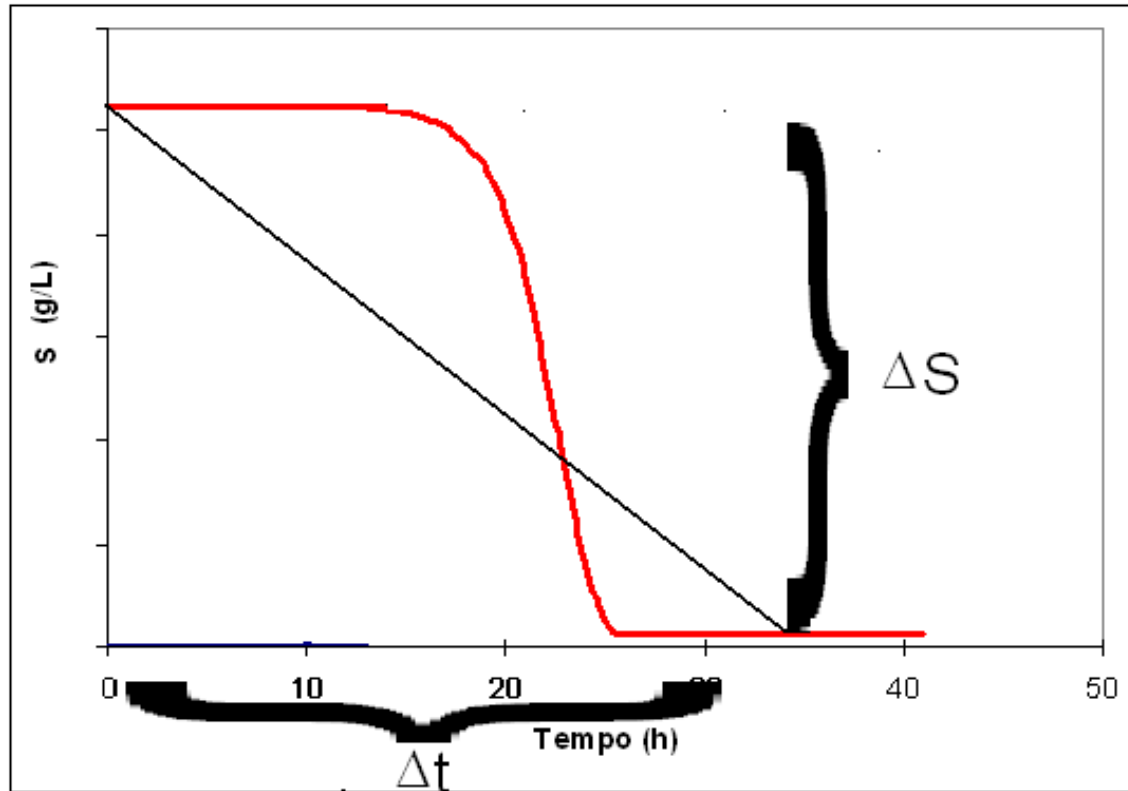
# Parâmetros de cultivo velocidades (Produtividades)



$$V = \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

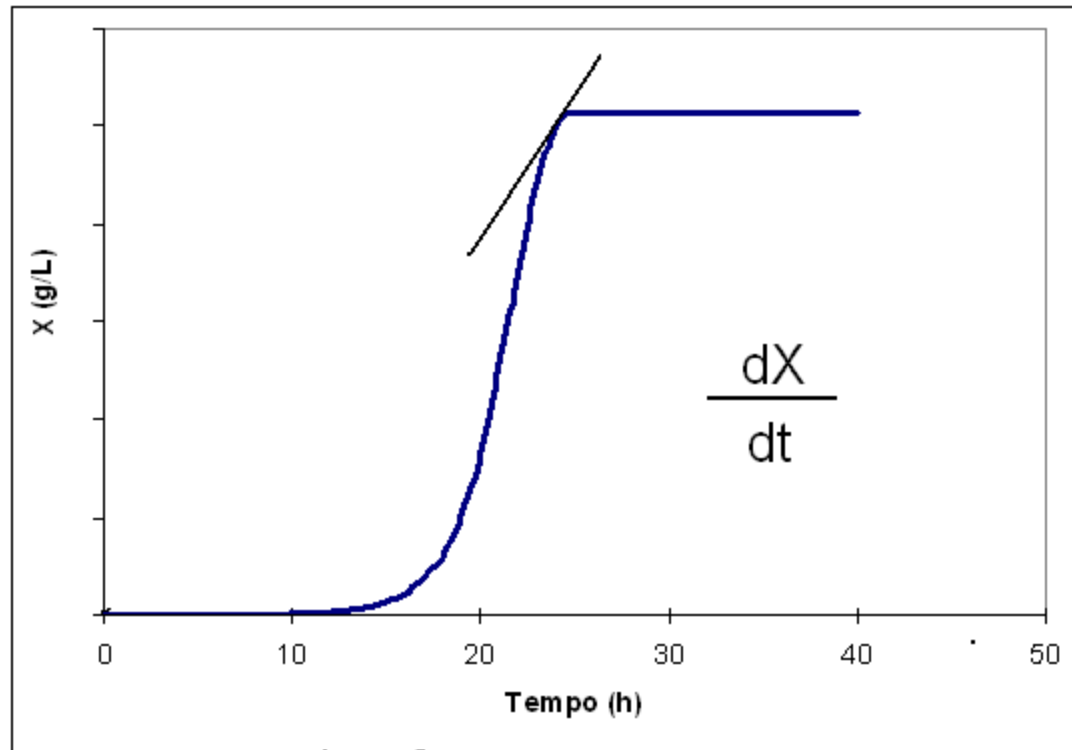
$$P = \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

# Parâmetros de cultivo velocidades



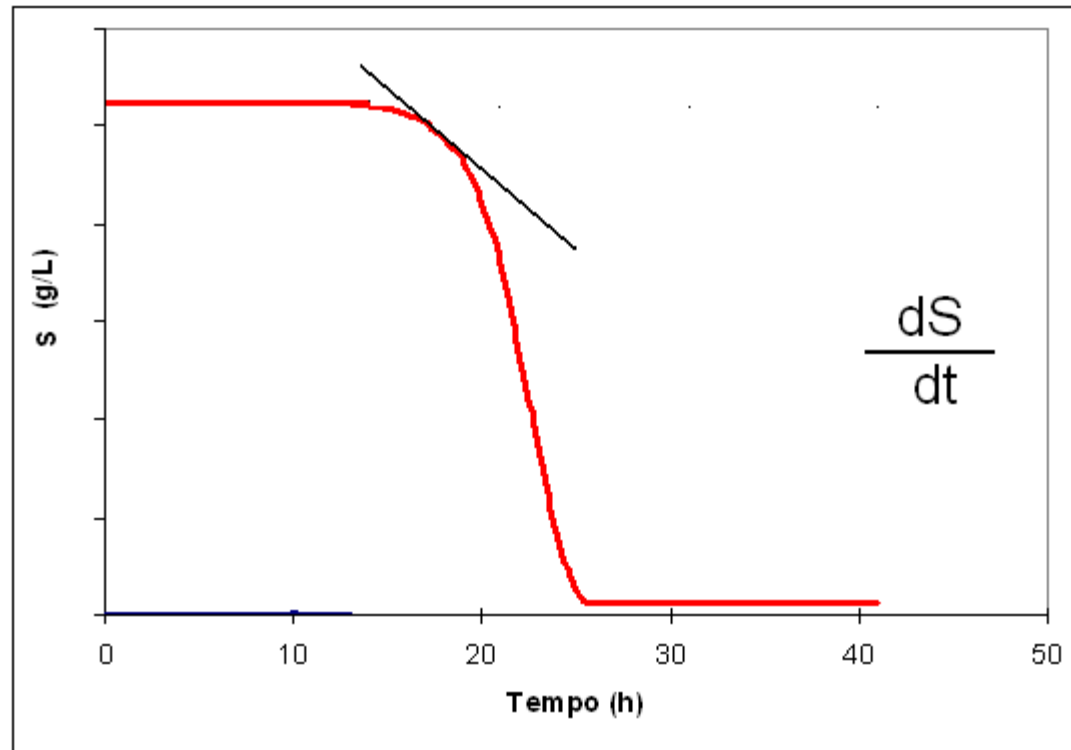
$$V = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

# Parâmetros de cultivo velocidades instantâneas

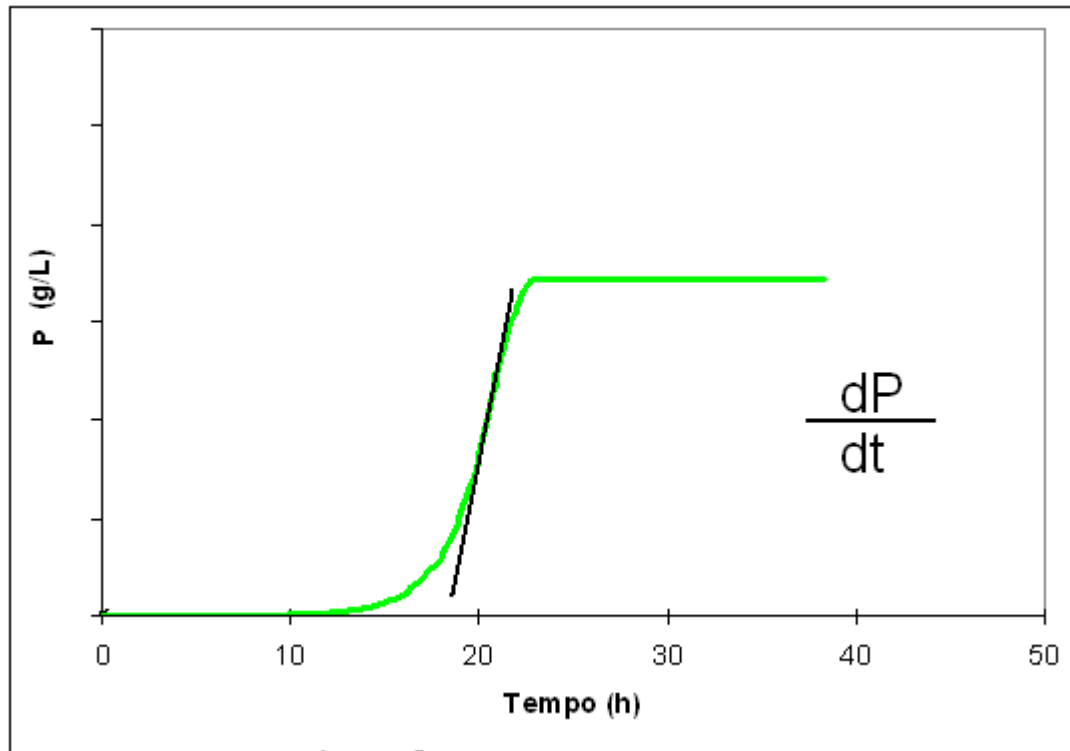




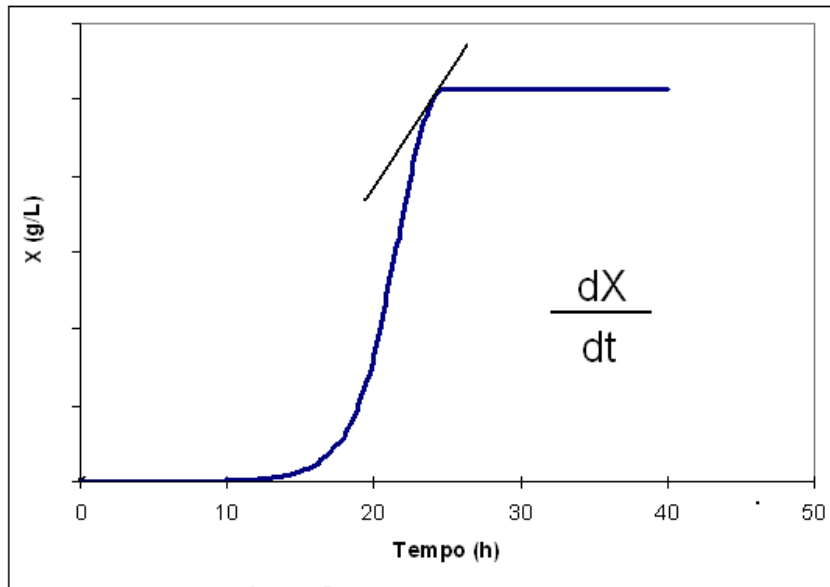
# Parâmetros de cultivo velocidades instantâneas



# Parâmetros de cultivo velocidades instantâneas



# Parâmetros de cultivo velocidades específicas



$$\mu_X = \frac{dX}{dt} \frac{1}{X}$$

# Parâmetros de cultivo velocidades específicas

---

$$\mu_x = \frac{dX}{dt} \frac{1}{X}$$

Rearranjando

$$\frac{1}{X} dX = \mu_x dt$$

Integrando

$$\int_0^t \frac{1}{X} dX = \int_0^t \mu_x dt$$

$$\ln X / X_0 = \mu_x t$$

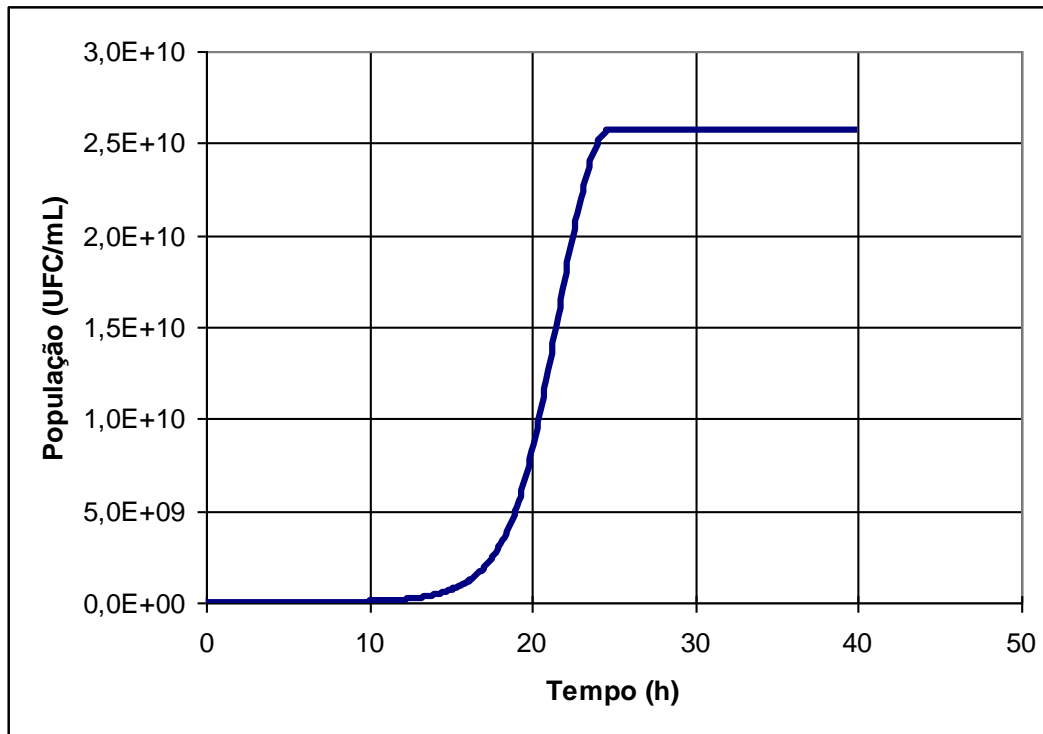
$$\ln X - \ln X_0 = \mu_x t$$

Rearranjando

$$\ln X = \ln X_0 + \mu_x t$$

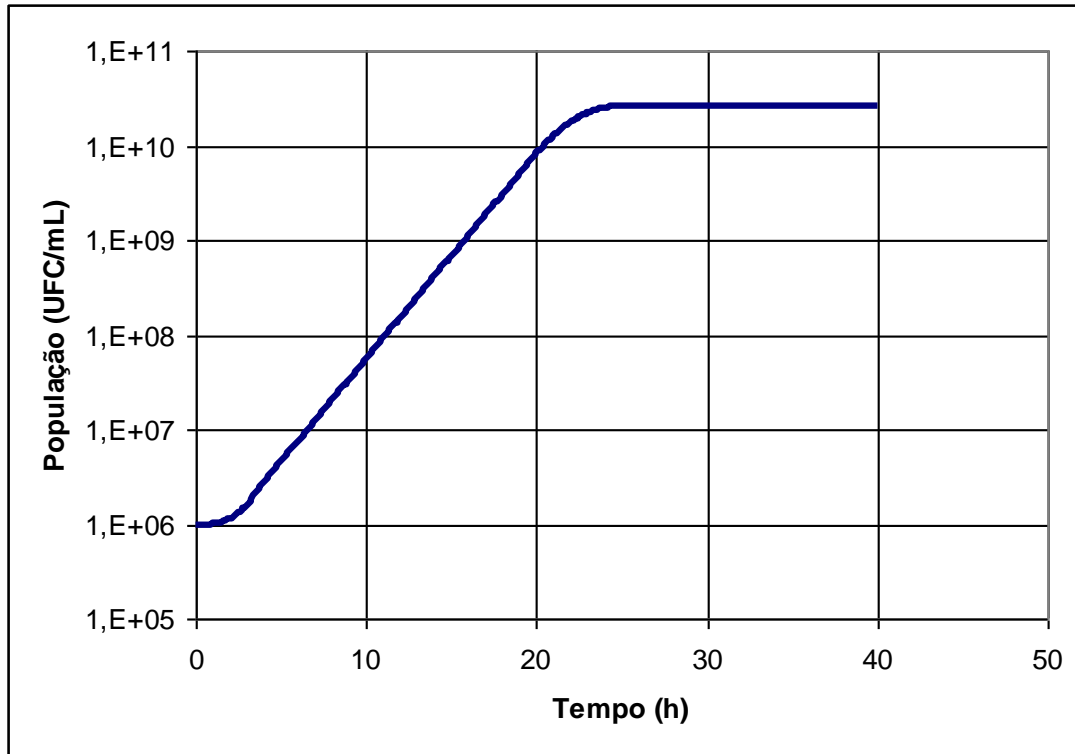
$$y = a + b \cdot x$$

# Fases de crescimento



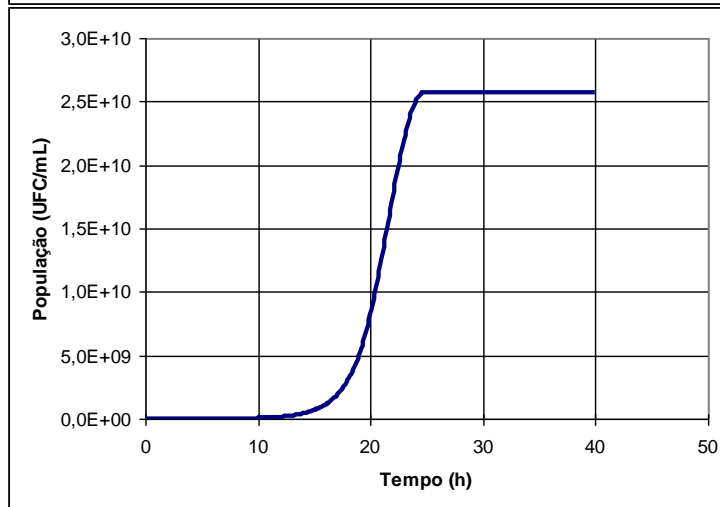
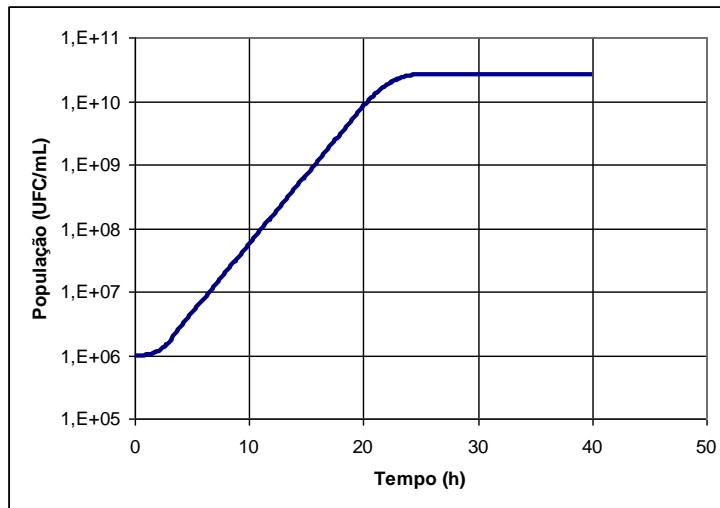
Lag  
Exponencial  
Estacionária

# Fases de crescimento



Lag  
Exponencial  
Estacionária

# Fases de crescimento



Lag

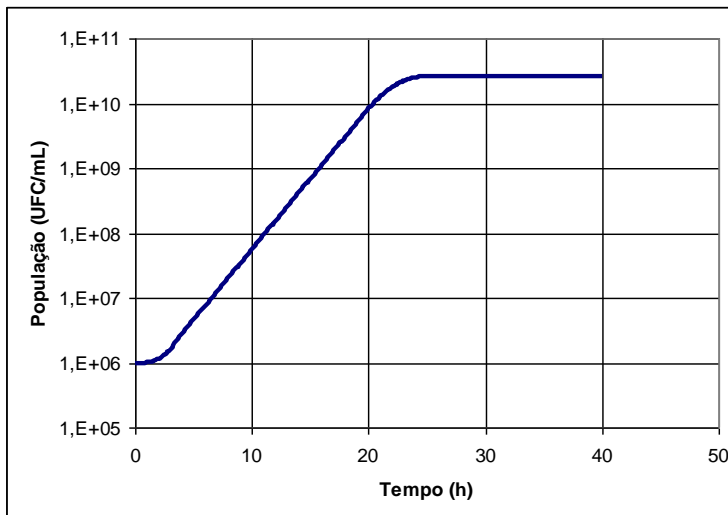
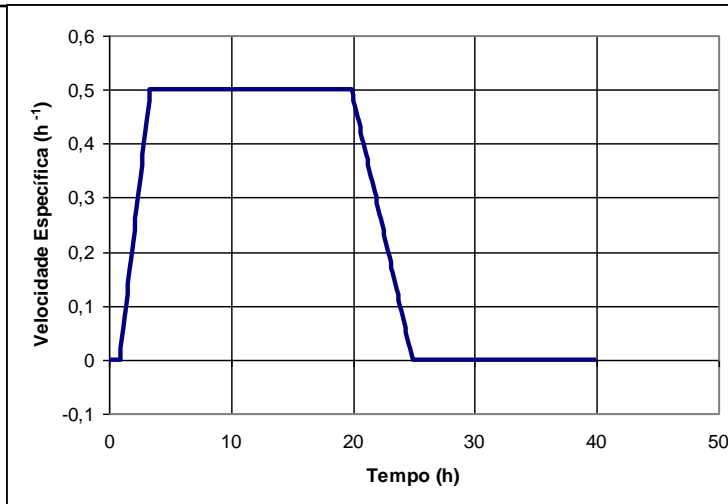
Exponencial

Estacionária

Aceleração

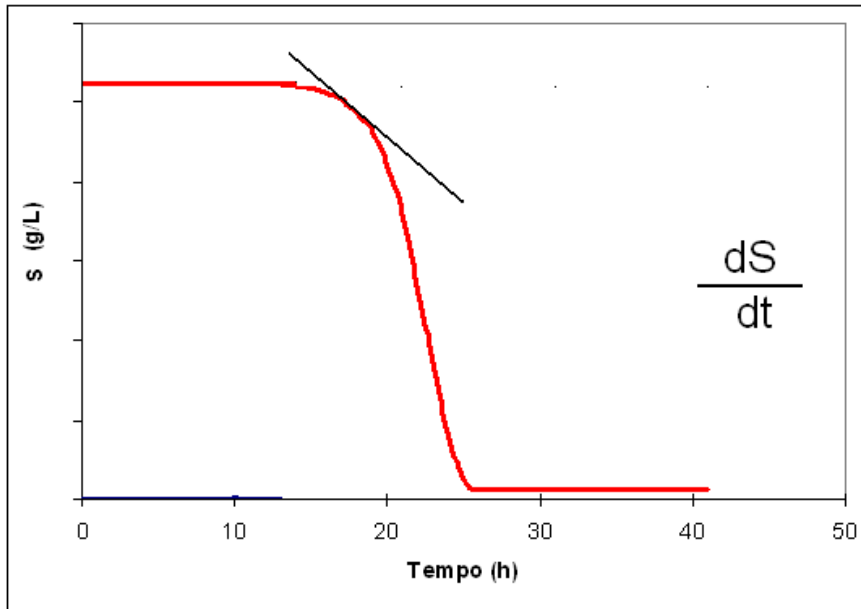
Desaceleração

# Fases de crescimento



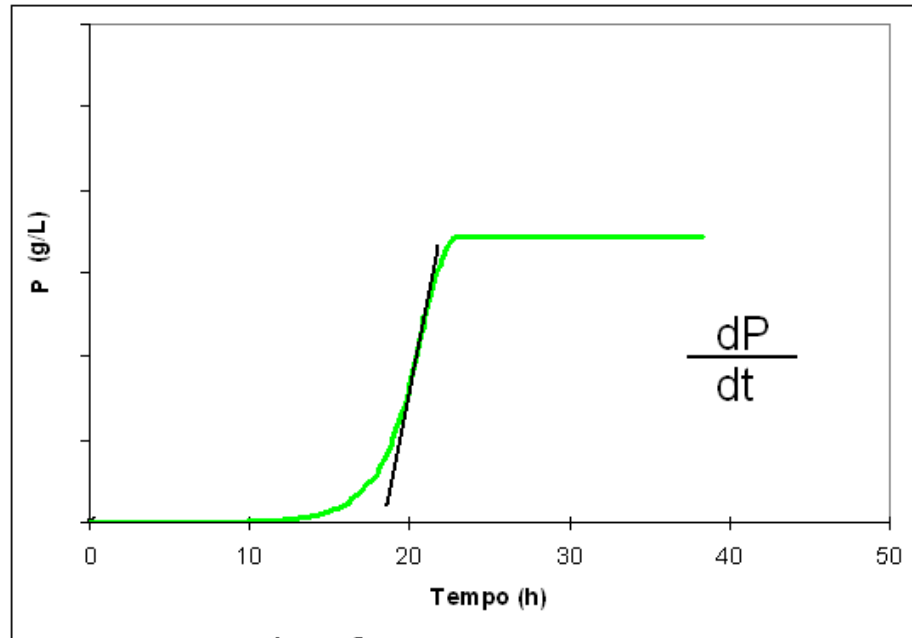


# Parâmetros de cultivo velocidades específicas



$$\mu_S = \frac{dS}{dt} \frac{1}{X}$$

# Parâmetros de cultivo velocidades específicas



$$\mu_P = \frac{dP}{dt} \frac{1}{X}$$

# Parâmetros de cultivo fatores de conversão

---

$$Y_{X/S} = \frac{\Delta X}{-\Delta S}$$

$$Y_{P/S} = \frac{\Delta P}{-\Delta S}$$

# Bioprocessos

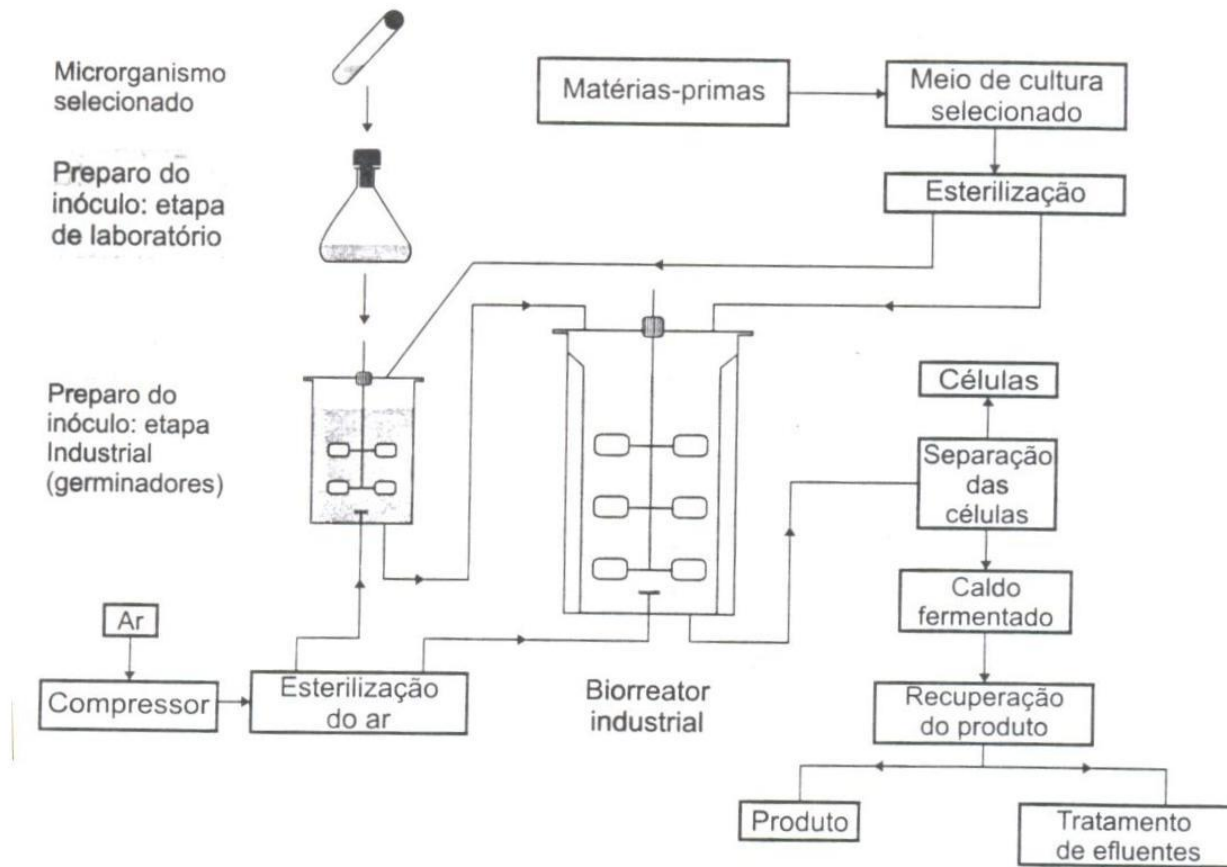
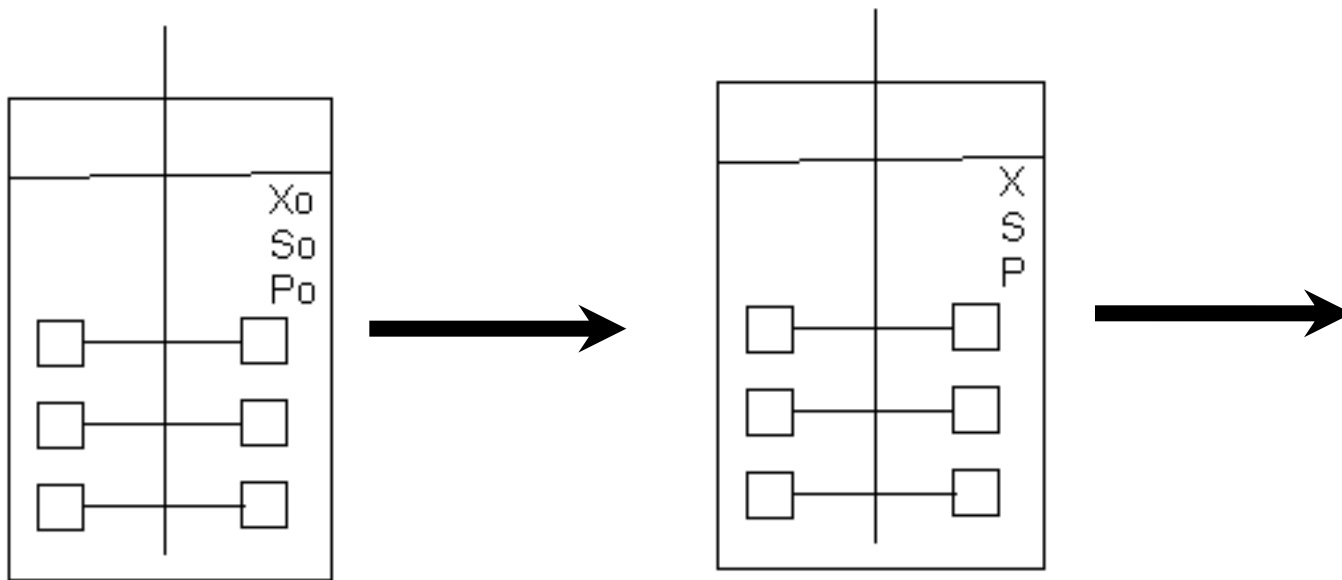


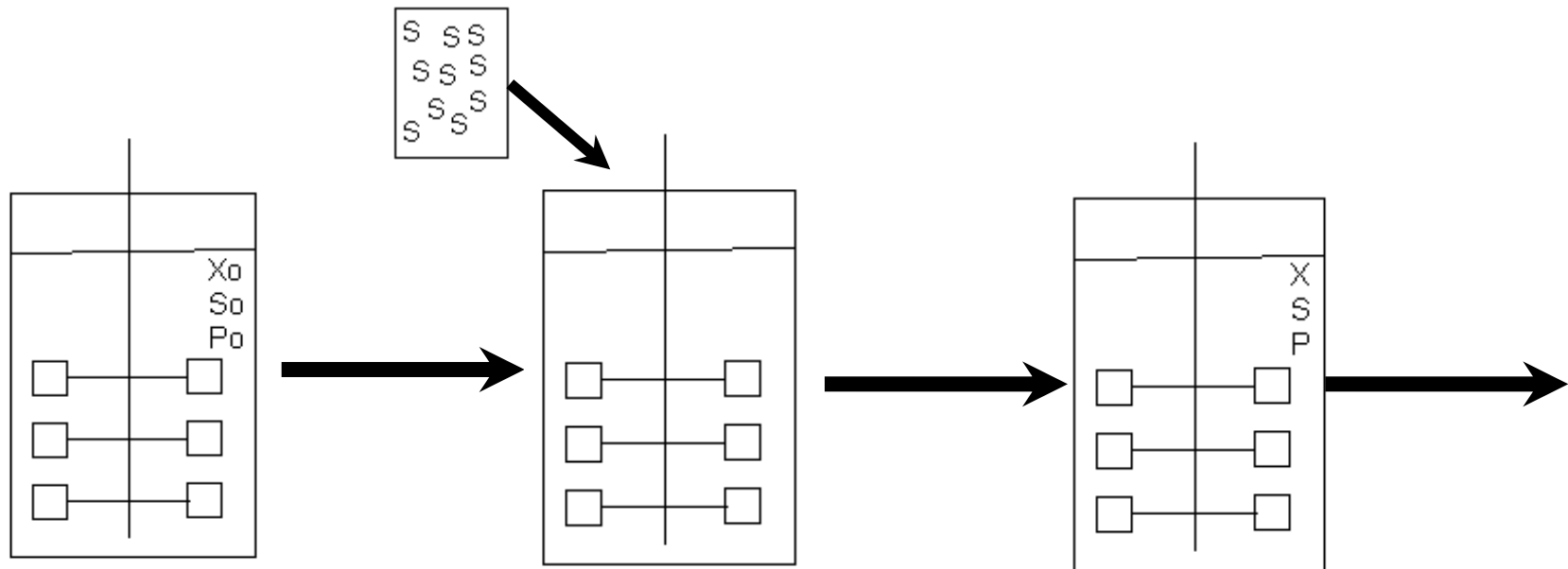
Figura 2.1 – Esquema geral de um processo fermentativo

# Cultivo descontinuo

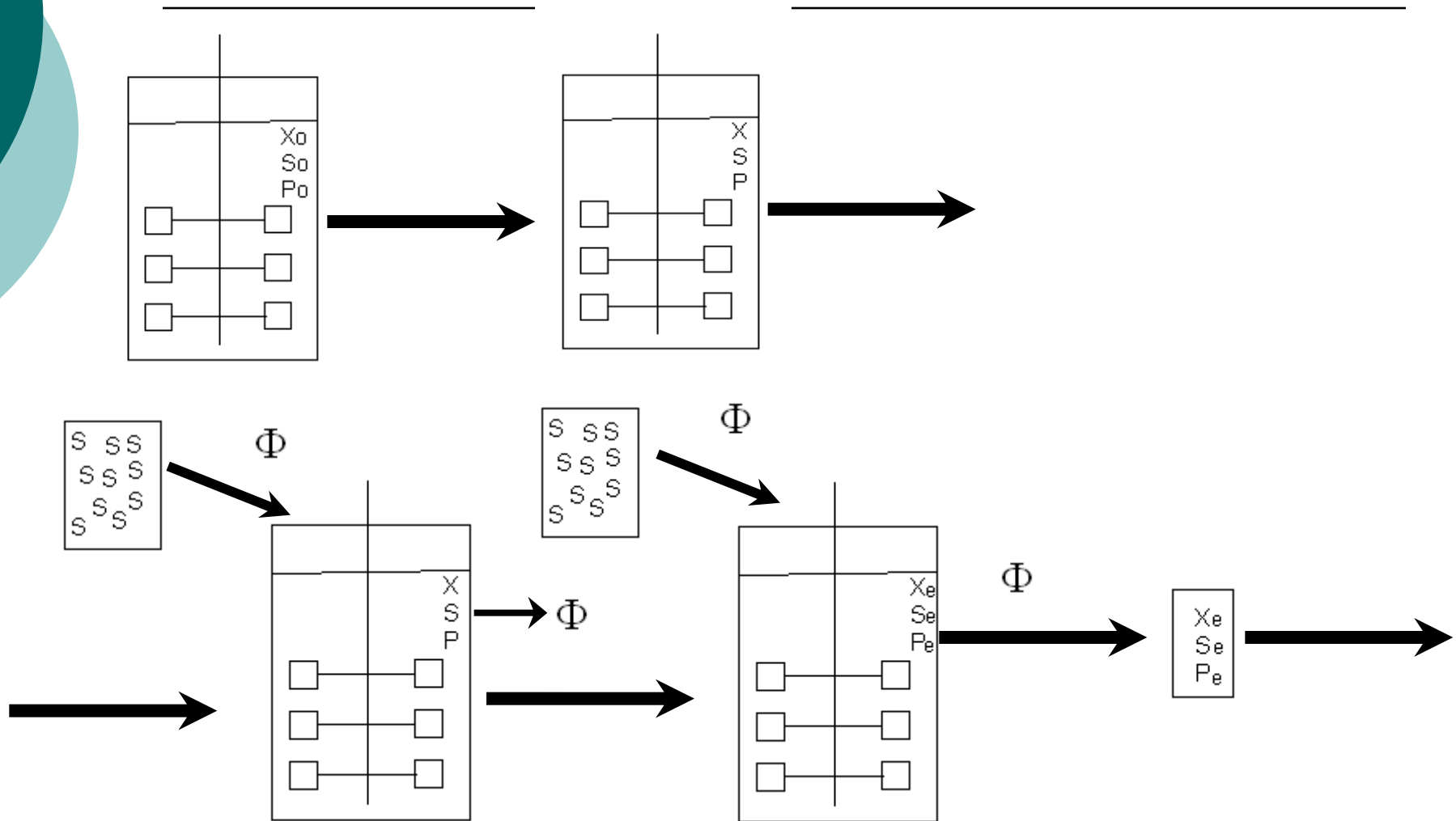
---

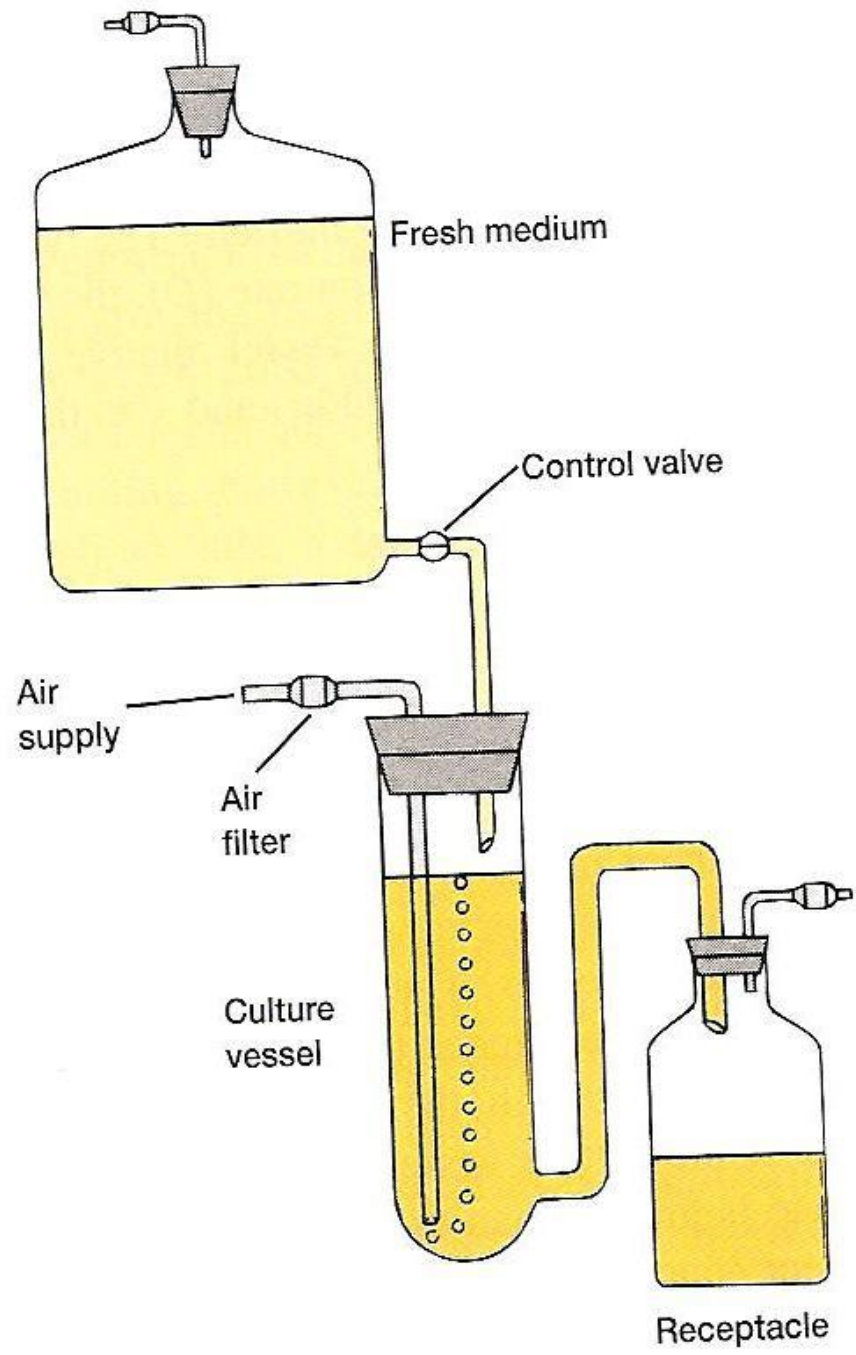


# Cultivo descontinuo alimentado



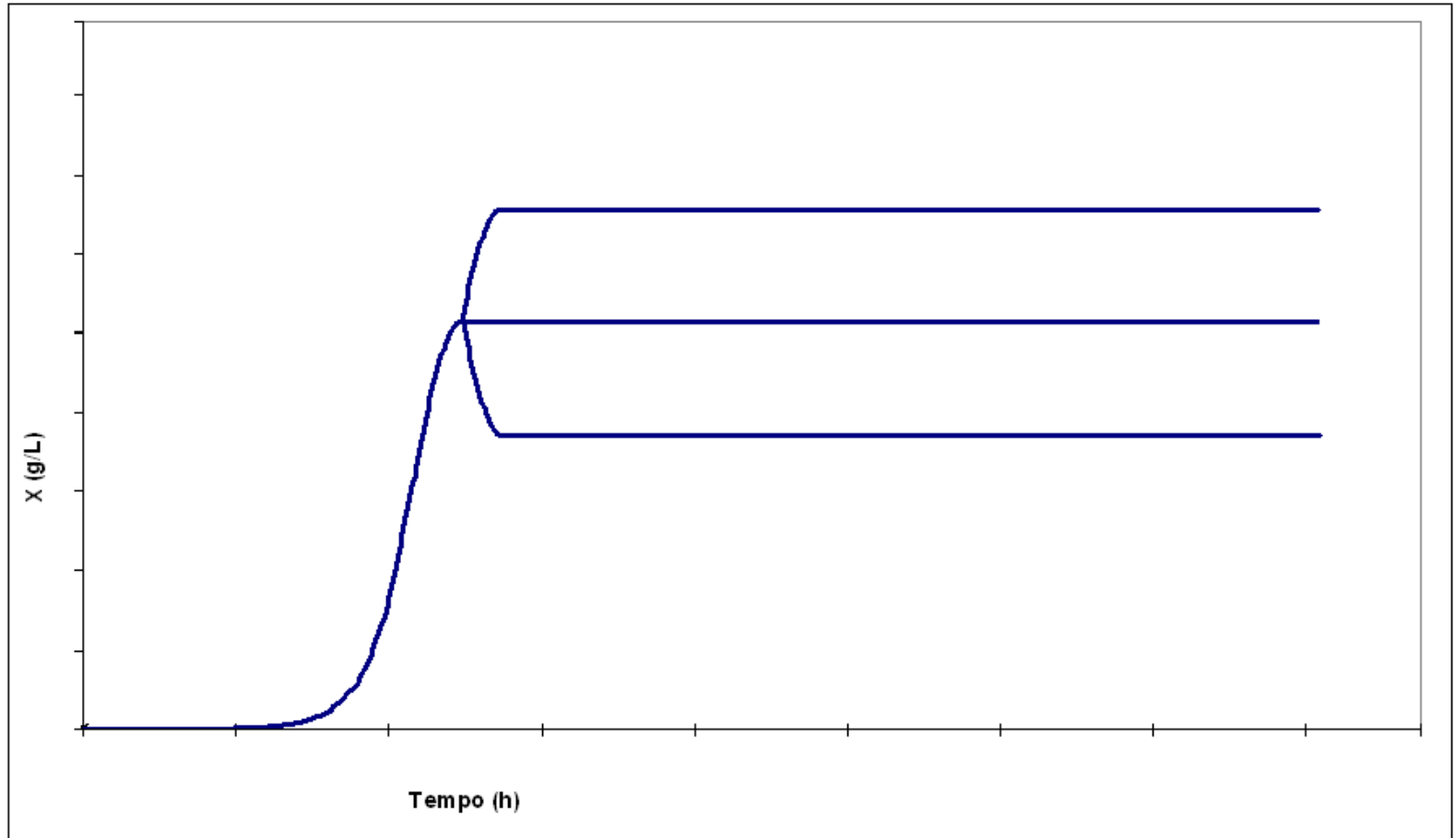
# Cultivo contínuo







# Cultivo contínuo



# Cultivo contínuo Balanço material

---

Variação  
de massa =  
no reator

Massa de  
células que  
entra

-

Massa de  
células que  
sai

+

Massa de  
células  
devido ao  
crescimento

$$V \frac{dX}{dt} = \Phi X_0 - \Phi X + V \left( \frac{dX}{dt} \right)_{\text{crescimento}}$$

# Cultivo contínuo Balanço material

---

$$V \frac{dX}{dt} = \Phi X_0 - \Phi X + V \left( \frac{dX}{dt} \right)_{\text{crescimento}}$$

Sendo que

$$\left( \frac{dX}{dt} \right)_{\text{crescimento}} = \mu X \quad D = \frac{\Phi}{V}$$

Temos

$$\frac{dX}{dt} = D (X_0 - X) + \mu X$$

Como  $X_0 = 0$  (meio estéril)

$$\frac{dX}{dt} = \mu X - DX$$

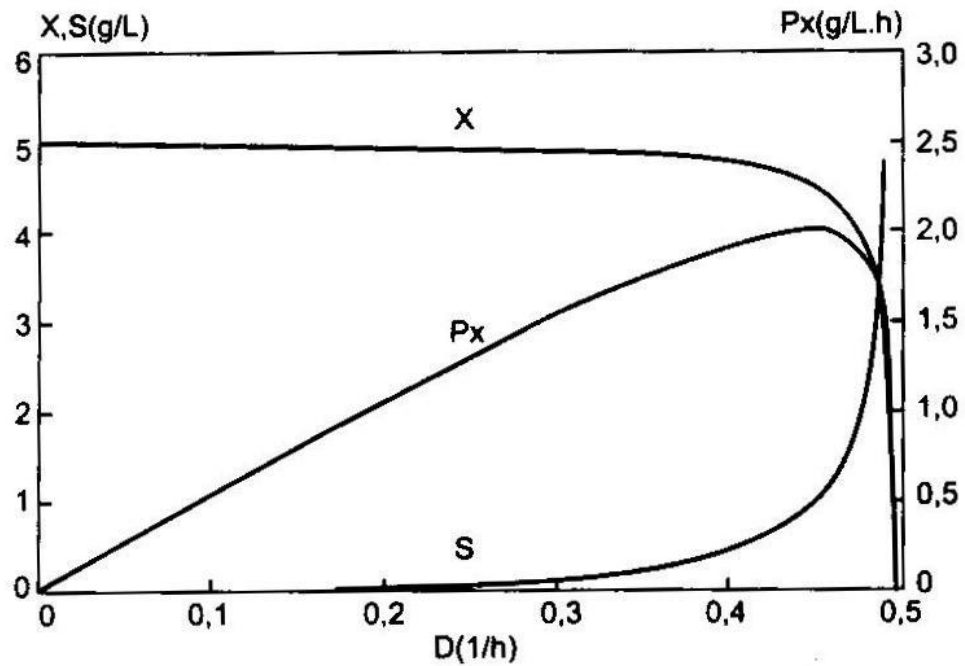
No estado estacionário  $dX/dt = 0$

$$\mu X = DX$$

OU

$$\mu = D$$

# Cultivo contínuo



**Figura 12.2** – Sistema contínuo em um único estágio, sem reciclo de células (simulação das equações 12.13 a 12.15, com  $\mu_{\max} = 0,5 \text{ h}^{-1}$ ;  $K_S = 0,1 \text{ g/L}$ ;  $Y_{X/S} = 0,5$ ;  $S_0 = 10 \text{ g/L}$ )

# Referências



- Carvalho, J.C.M. & Sato, S. 2001. Fermentação descontínua alimentada. In Schimidell, W.; Lima, U.A.; Aquarone, E.; Borzani, W. **Biotecnologia Industrial**. Vol. 2 Engenharia Bioquímica. p. 205-218.
- Carvalho, J.C.M. & Sato, S. 2001. Fermentação descontínua. In Schimidell, W.; Lima, U.A.; Aquarone, E.; Borzani, W. **Biotecnologia Industrial**. Vol. 2 Engenharia Bioquímica. p. 193-204.
- Facciotti, M.C.R. 2001. Fermentação contínua. In Schimidell, W.; Lima, U.A.; Aquarone, E.; Borzani, W. **Biotecnologia Industrial**. Vol. 2 Engenharia Bioquímica. p. 223-246.
- Mukherjee, S.; Das, P.; Sem, R. 2006. Towards commercial production of microbial surfactants. **Trends n Biotechnology**, 24: 509-515.
- Riesenberg, D. & Guthke, R. 1999. High-cell-density cultivation of microorganisms. **Applied Microbiology and Biotechnology**, 51: 422-430.
- Schimidell, W. & Facciotti, MC.R. 2001. Biorreatores e processos fermentativos. In Schimidell, W.; Lima, U.A.; Aquarone, E.; Borzani, W. **Biotecnologia Industrial**. Vol. 2 Engenharia Bioquímica. p. 179-192.
- Schimidell, W. 2001 Microrganismos e meios de cultura para utilização industrial. In Schimidell, W.; Lima, U.A.; Aquarone, E.; Borzani, W. **Biotecnologia Industrial**. Vol. 2 Engenharia Bioquímica. p. 5-18.
- Zhang, J. & Greasham, R. 1999. Chemically defined media for commercial fermentations. **Applied Microbiology and Biotechnology**, 51: 407-421.