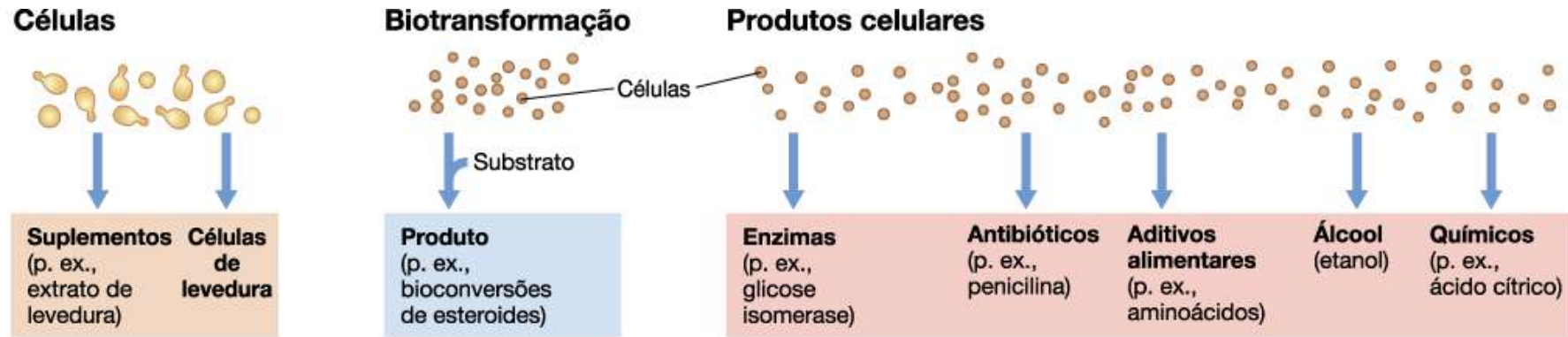


# Fermentação contínua e descontínua: aplicações e vantagens



Profa. María Eugenia Guazzaroni

# Produtos da Microbiologia Industrial



condições de alto rendimento



biorreatores / modo de operação



máximo potencial de produção dos microrganismos

# Principais etapas de um processo biotecnológico

## *Iniciais (Upstream)*

### Escolha do inóculo:

Seleção  
Coleções de cultura  
Protocolos  
Mutação  
Melhoramento genético

### Definição do meio de cultivo:

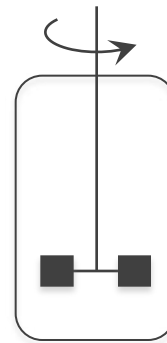
Matéria-prima sintética/naturais  
(fontes de C, nutrientes...)  
Resíduos agroindustriais  
Micronutrientes (cofatores)

### Forma de esterilização:

Calor úmido  
Membranas (viabilidade dos  
nutrientes)

## *Finais (Downstream)*

Biorreatores



Tipos e modos de  
operação

Separação e  
purificação do  
produto final

# Formas de condução de um processo fermentativo

- As formas básicas de condução de um processo fermentativo são o **descontínuo** e o **contínuo**
- **Descontínuo alimentado** e **Semicontínuo** são formas desenvolvidas a partir das formas básicas com o objetivo de contornar problemas inerentes a estes processos
- Experiência adquirida ao longo do tempo na indústria leva o pessoal a decidir quais modificações que devem ser feitas no processo para aumentar o rendimento e/ou a produtividade do mesmo

# Modos de operação

Estão caracterizados principalmente pelas **diferentes formas de adição do substrato e dos nutrientes**



Momento e forma que o substrato entrará em contato com as células

➤ **Enorme flexibilidade de operação**

# Formas de condução de um processo fermentativo:

## ➤ 1. Descontínuo (Batelada ou Batch)

- 1.Com um inóculo por tanque
- 2.Com recirculação de células

## ➤ 2. Descontínuo alimentado (Fed Batch)

- 1.Sem recirculação de células
- 2.Com recirculação de células

## ➤ 3. Semicontínuo

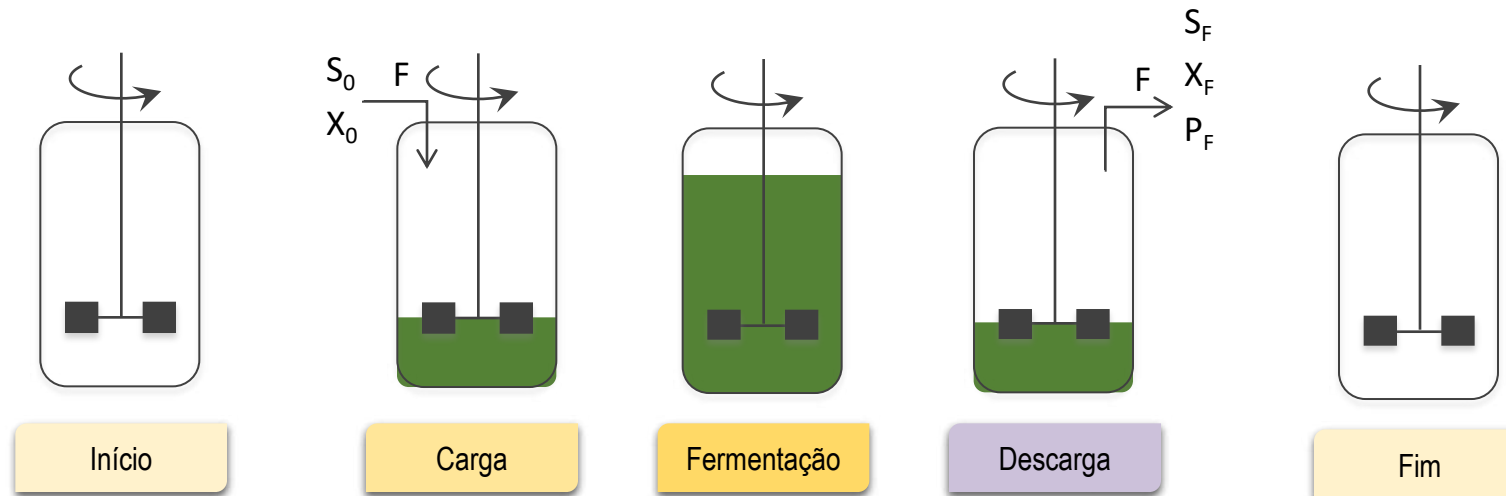
## ➤ 4. Contínuo

- 1.Executado em um reator
- 2.Executado em vários reatores
3. Ambos sem e com recirculação de células

# 1. Processo Descontínuo (um inóculo por tanque)

## Características principais:

- Todos os nutrientes são adicionados ao biorreator antes do início do processo, exceto  $O_2$ , e outros produtos químicos necessários para controle de pH e espuma.
- O volume no decorrer da fermentação permanece constante.



$F$  = vazão volumétrica de alimentação de meio (L/h)

# Processo Descontínuo (um inóculo por tanque)

## Vantagens:

- Apresenta menor risco de contaminação (sistema fechado)
- Elevada assepsia
- Simplicidade
- Condições de controle mais estreitas da estabilidade genética dos microrganismos
- Baixo custo

## Desvantagens:

- Baixa produtividade
- Se o substrato exercer efeito de inibição, poderá ocorrer baixos rendimentos e/ou produtividades.
- Apresenta “tempo morto”, tempo em que o fermentador não está sendo usado no processo fermentativo (tempo de carga, descarga e lavagem)



# Processo Descontínuo (um inóculo por tanque)

## Aplicações:

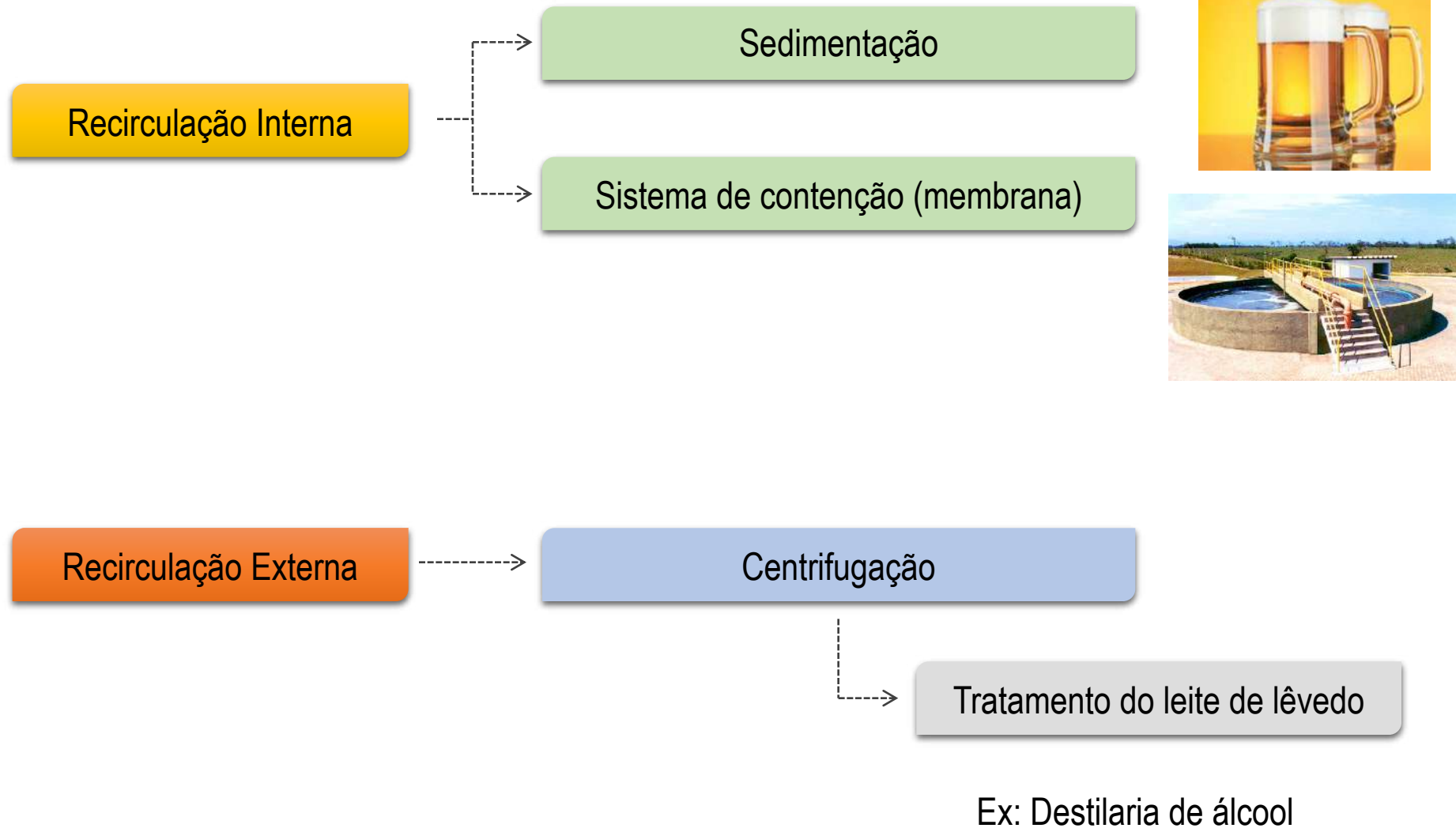
- É o mais utilizado na produção de alimentos e bebidas, como: *iogurte, cerveja, vinho, pickles, chucrute, etc.*
- Permite o conhecimento básico da cinética de fermentação, para que se possa propor alternativas de condução de processo.

## Na prática:

- Dificilmente será aplicado industrialmente em larga escala
- Sua baixa eficiência estimula o surgimento das formas alternativas

# Primeira alternativa: recircular as células

Exemplos:

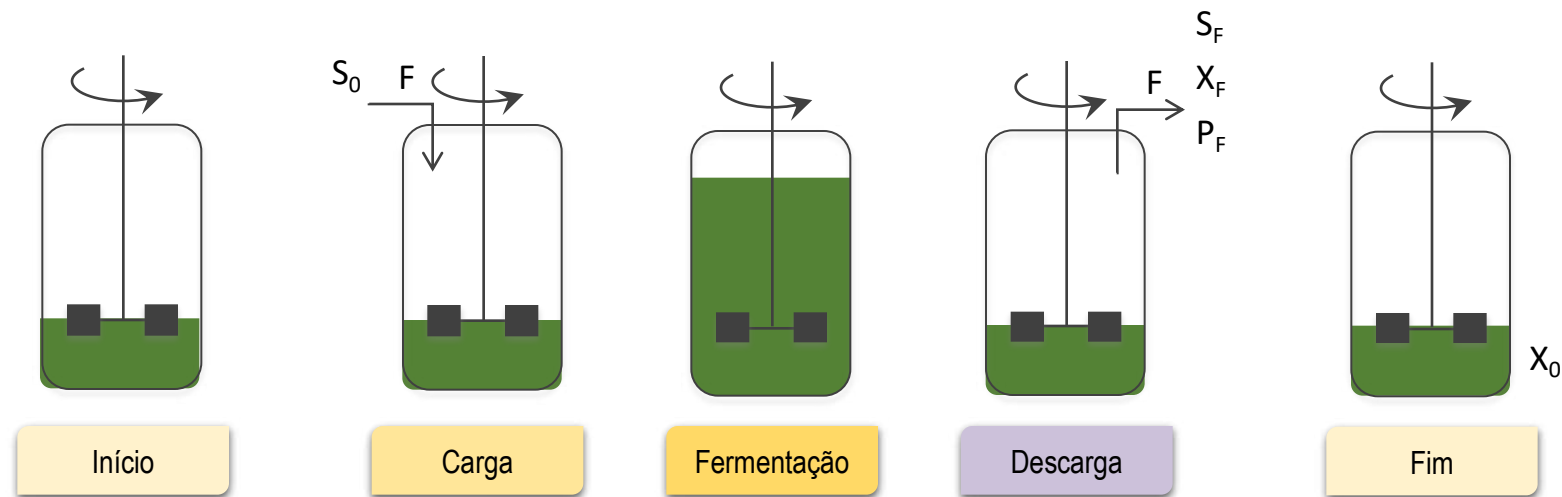


# Processo Descontínuo (Com reaproveitamento de inóculo)

É utilizado como inóculo as células da fermentação anterior

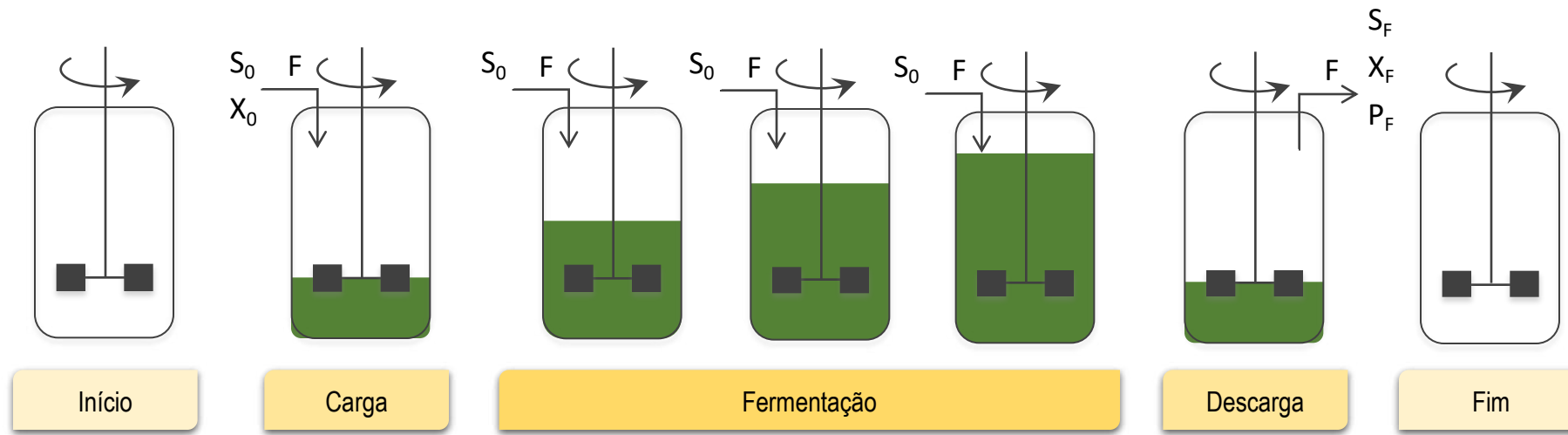
## Vantagens:

- Diminui custos relativos ao inóculo
- Reduz a fase lag do microrganismo

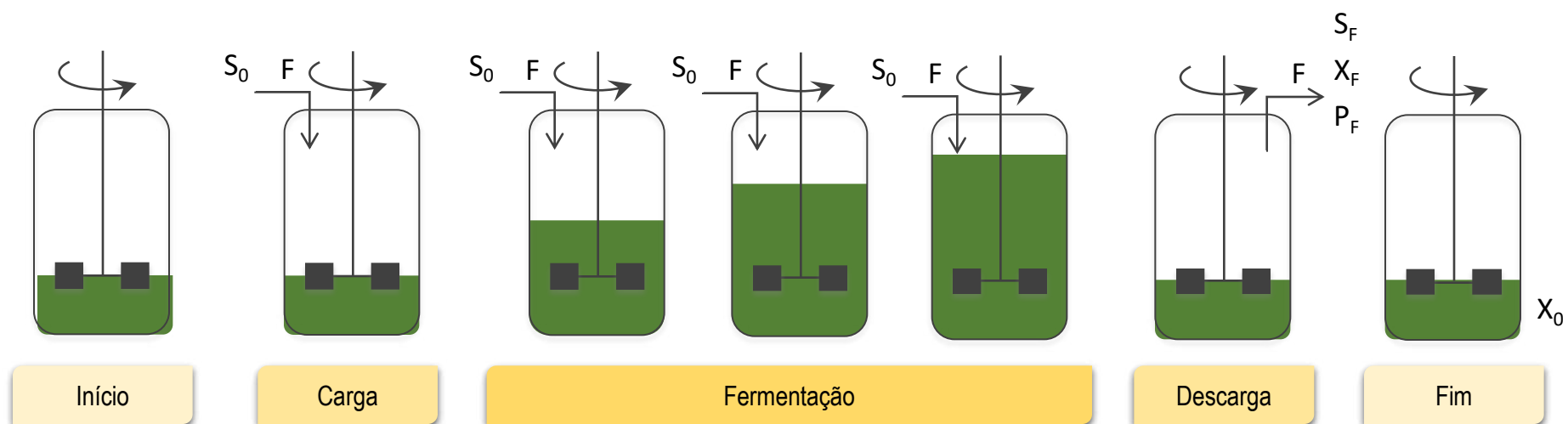


## 2. Processo Descontínuo Alimentado

É definido como um modo de operação no qual um ou mais nutrientes (incluindo substrato), ou mesmo todos os nutrientes são **adicionados gradualmente durante o processo de fermentação** e os produtos formados permanecem no meio até o tempo final.



## Processo Descontínuo alimentado (reaproveitamento inóculo)



# Processo Descontínuo Alimentado

## Características principais:

- O volume varia durante o decorrer da fermentação
- A vazão de alimentação pode ser constante ou variar com o tempo, e a adição de mosto pode ser contínua ou intermitente.
- É possível controlar a concentração de substrato na fermentação (*podendo assim interferir no metabolismo microbiano*)

# Processo Descontínuo Alimentado

## Aplicações:

- Minimiza a repressão catabólica

Exemplos: produção de determinados antibióticos como neomicina, estreptomicina, sofrem repressão pela presença de glicose

- Prevenção da inibição por substrato

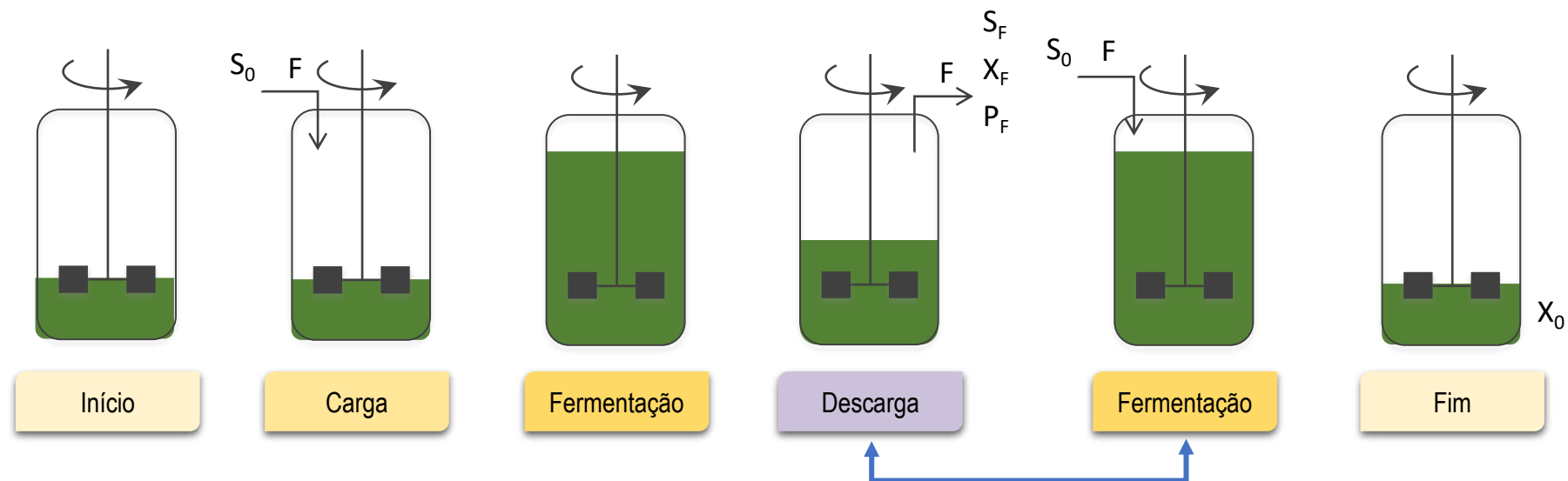
Exemplos: concentração de glicose superiores a 100 g/L podem causar inibição em fermentação alcoólica com *Saccharomyces cerevisiae*

- Minimização da formação de produtos metabólicos tóxicos

Exemplos: para *E. coli*, fonte de carbono em excesso, mesmo em aerobiose, levam a formação de ácido acético, inibidor do crescimento

### 3. Processo Semicontínuo

- Diferencia-se do descontínuo alimentado pelo fato de se retirar o líquido fermentado e se proceder ao preenchimento do reator empregando-se uma vazão muito elevada.
- Uma vez alcançado o término da fermentação, retira-se parte do meio fermentado, mantendo-se, no reator o restante mosto. Depois adiciona-se ao reator um volume de meio de fermentação igual ao volume de meio fermentado retirado anteriormente.





# Processo Semicontínuo

## Aplicações:

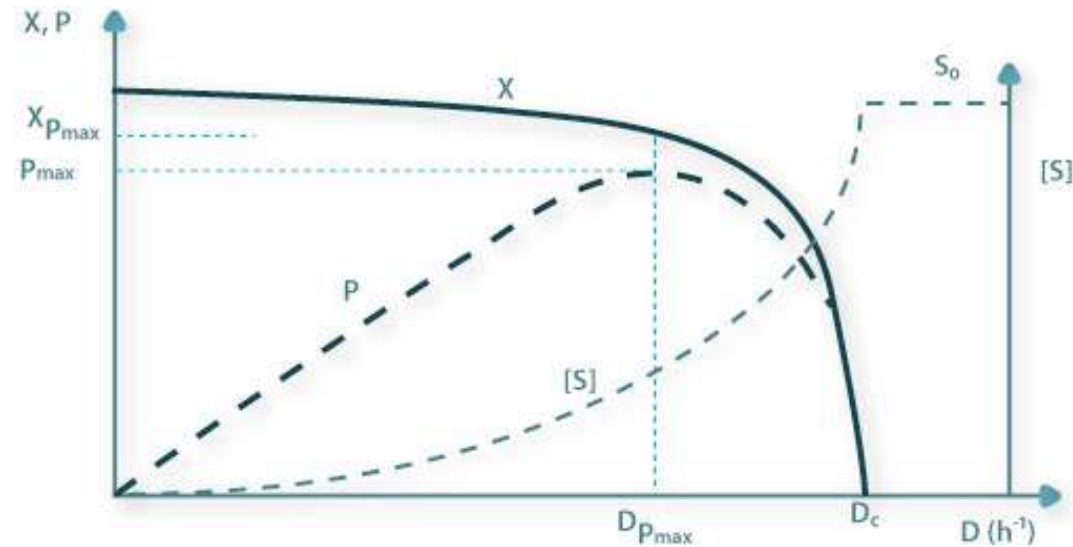
- Operação por choque de carga de substrato (Exemplo: produção de enzimas sujeitas ao controle por indução)
- Poucas aplicações, principalmente para volumes de produção pequenos, como o antigo processo de fabricação de vinagres a partir de vinho

## 4. Processo Contínuo

- O meio é adicionado de forma contínua e os produtos de fermentação também são continuamente removidos
- Volume mantido constante
- Objetivo da cultura contínua é controlar o crescimento celular em um nível de produtividade ótima
- Manutenção de células em mesmo estado fisiológico (ferramenta de estudos de regulação metabólica)
- Pode ser operado por longos períodos de tempo em estado estacionário (*steady state*)
- Agitação é necessária para distribuição rápida dos nutrientes

# Processo Contínuo

Como o reator opera em estado estacionário (não há variação de  $X$ ,  $S$  e  $P$  em função do tempo), para um dado processo fermentativo  $X$ ,  $S$  e  $P$  variam em função da vazão específica de alimentação  $D$ :



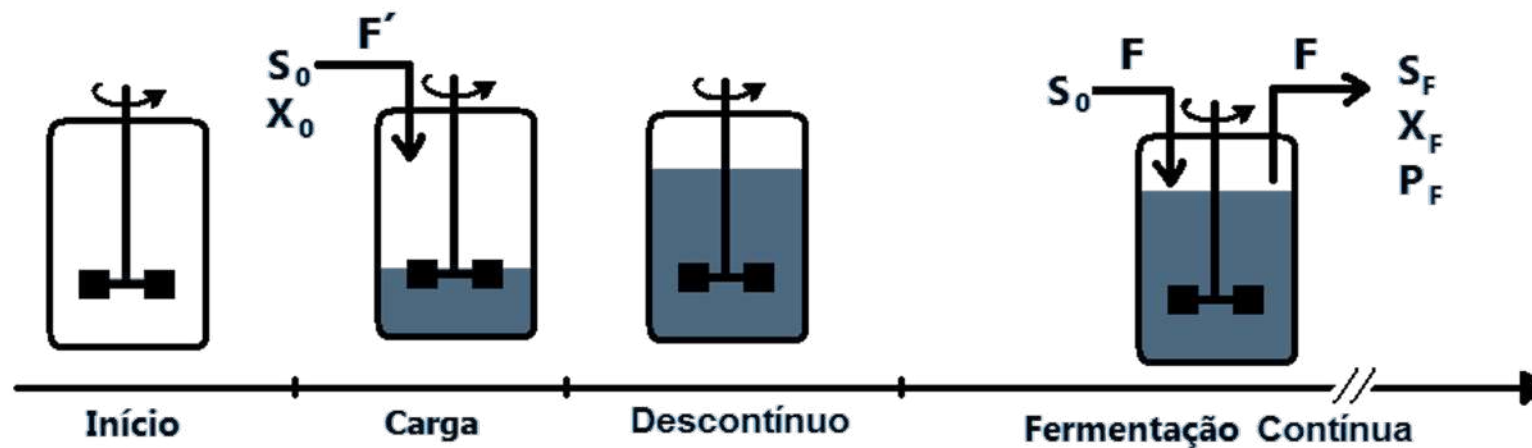
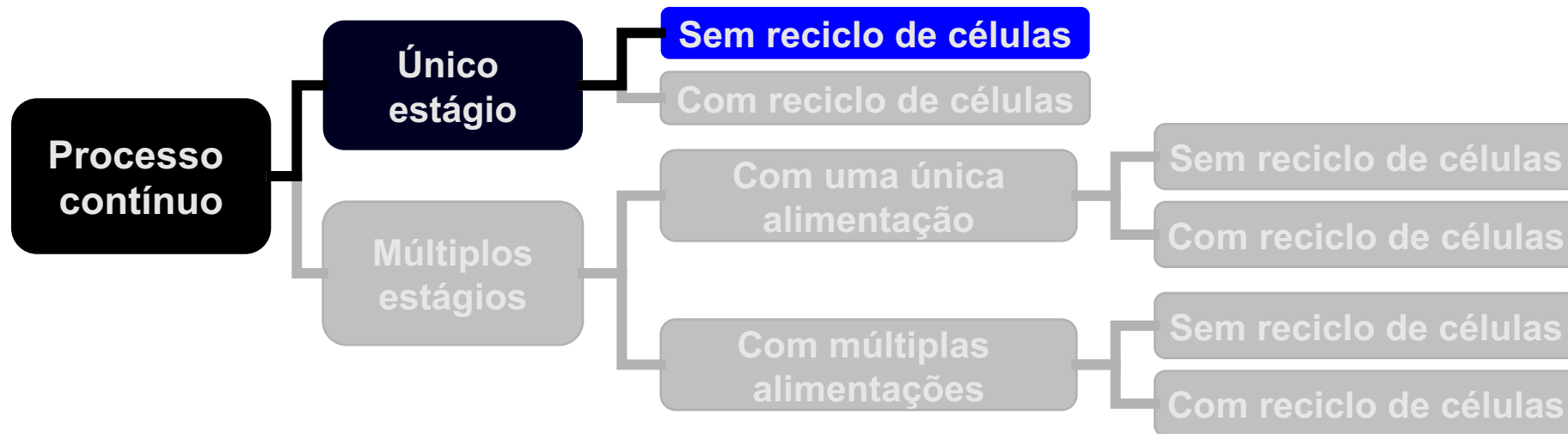
$$D = F/V \text{ (h}^{-1}\text{)}$$

$$\mu = D$$

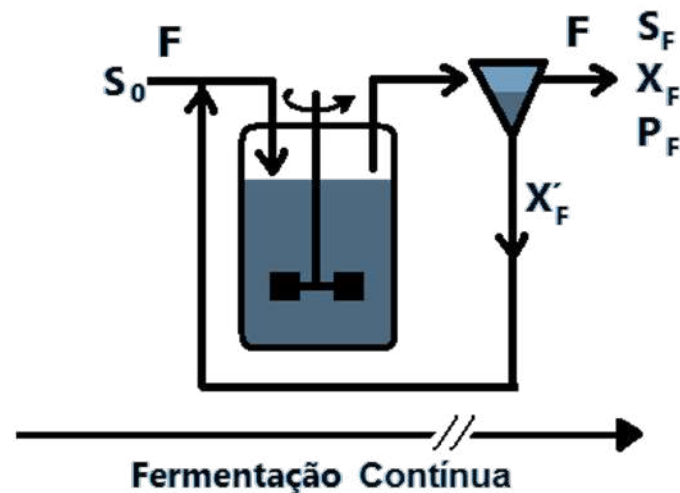
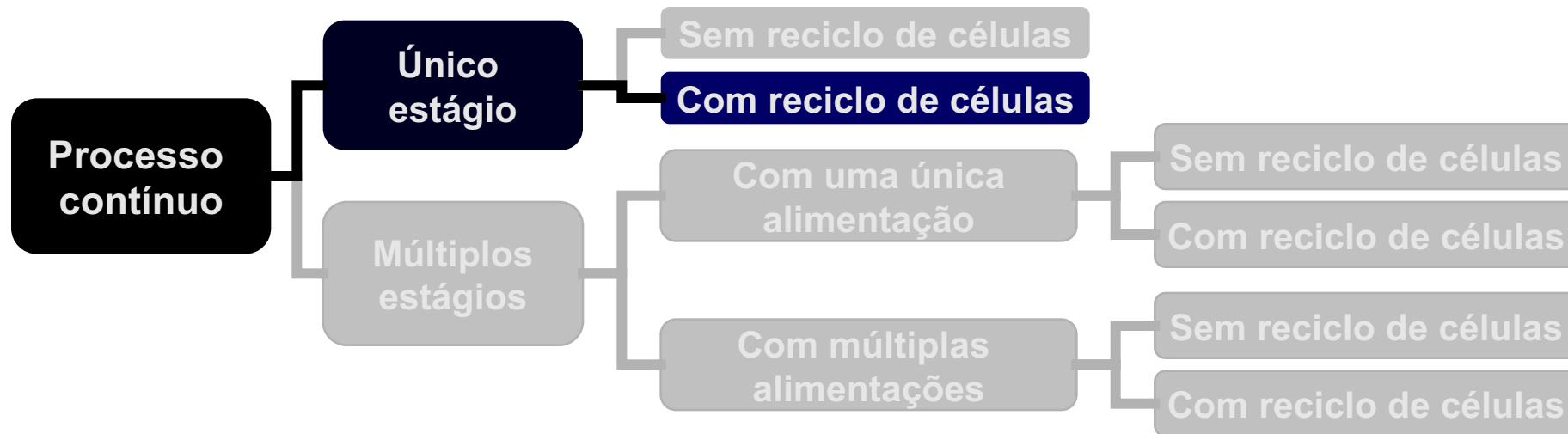
$F$  (unidades de volume/tempo)=  
(L/h) ou (mL/min)

Ou seja, significa que através da imposição de uma determinada vazão de alimentação ao reator ( $D$ ), é possível controlar a velocidade específica de crescimento das células ( $\mu$ ) → se pode fixar o estado fisiológico das células

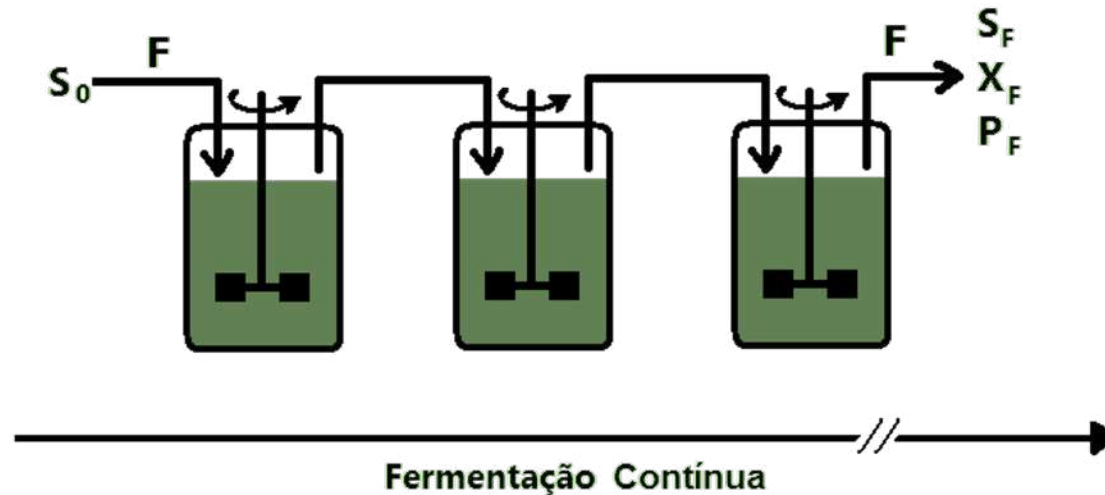
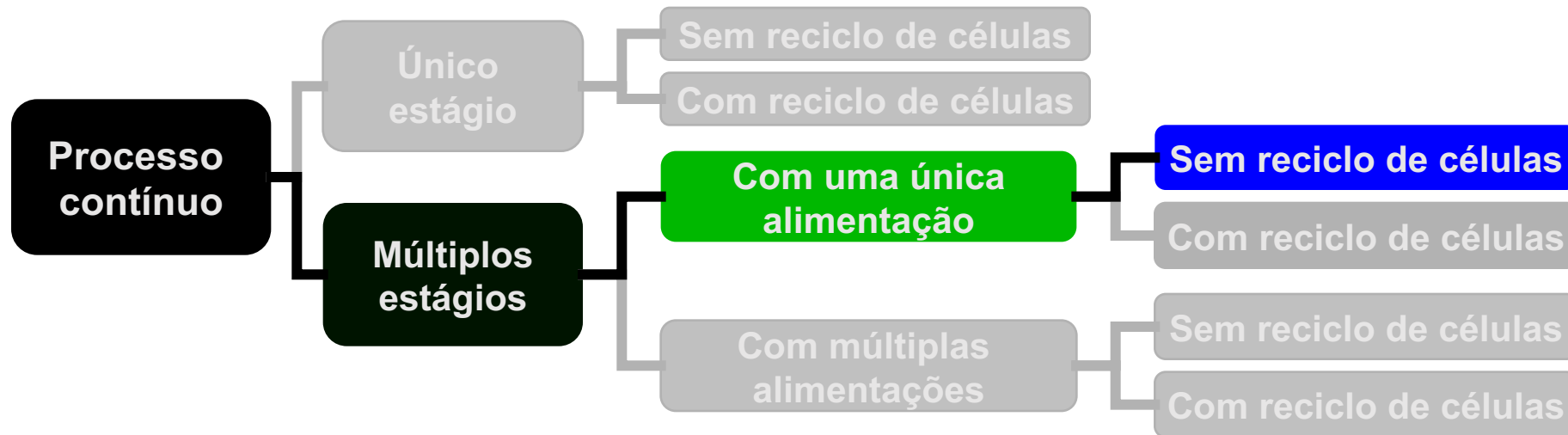
# Processo Contínuo



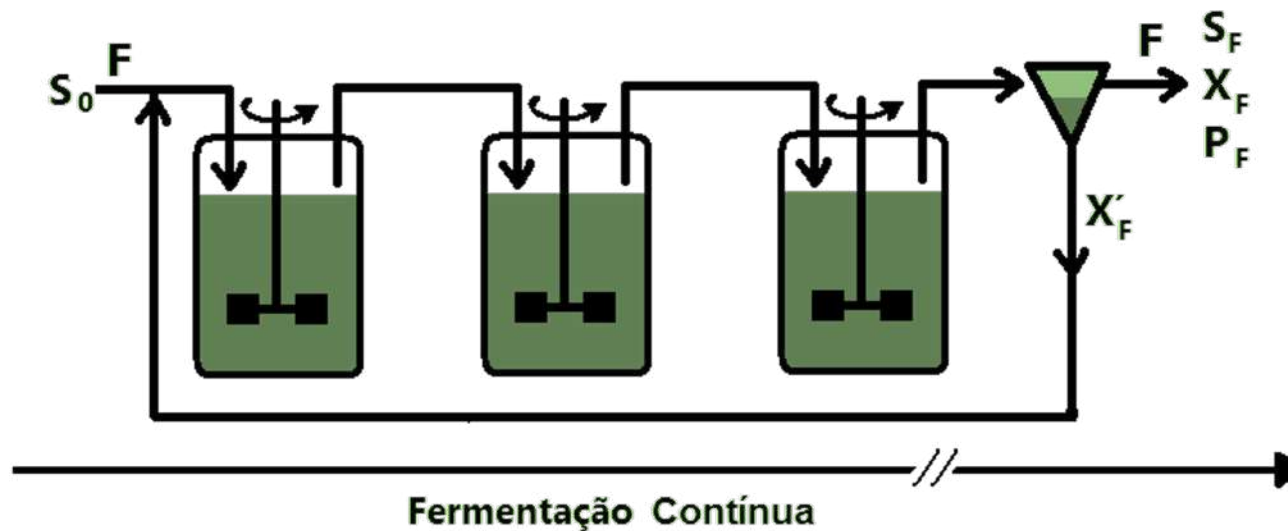
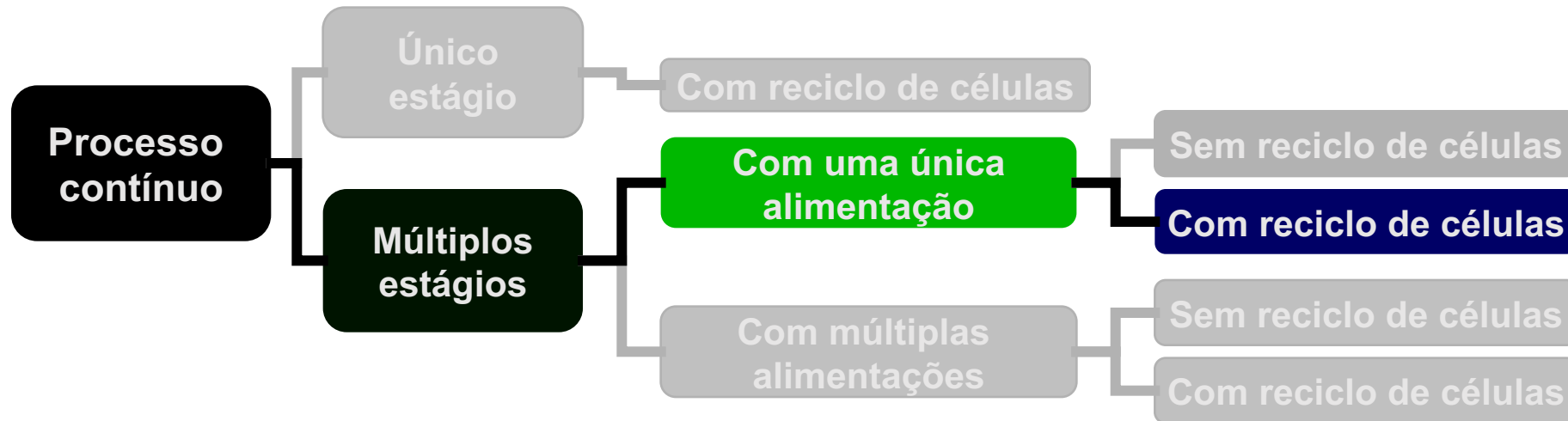
# Processo Contínuo



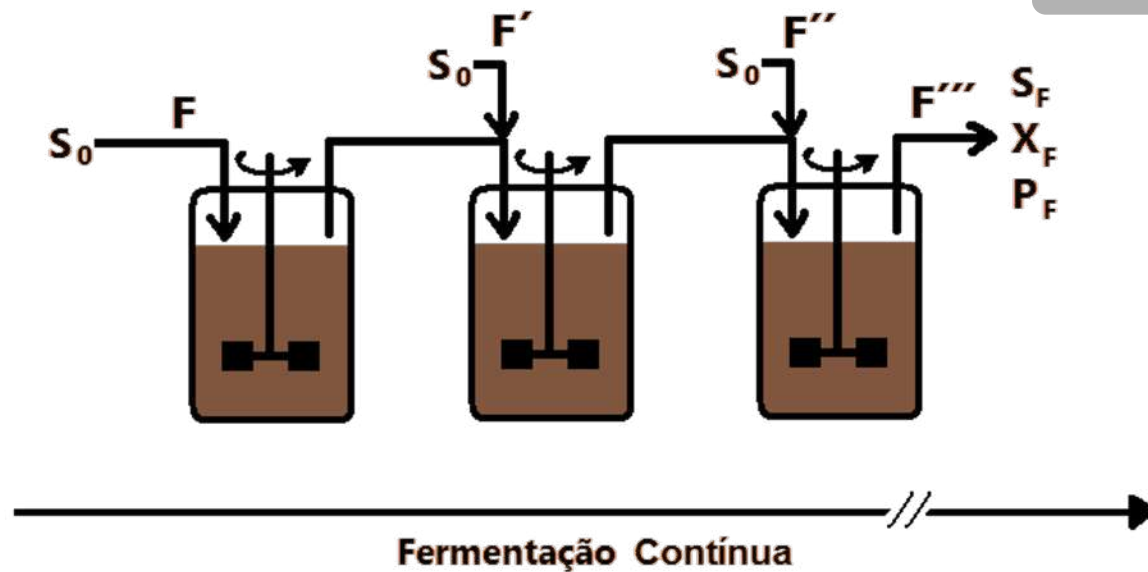
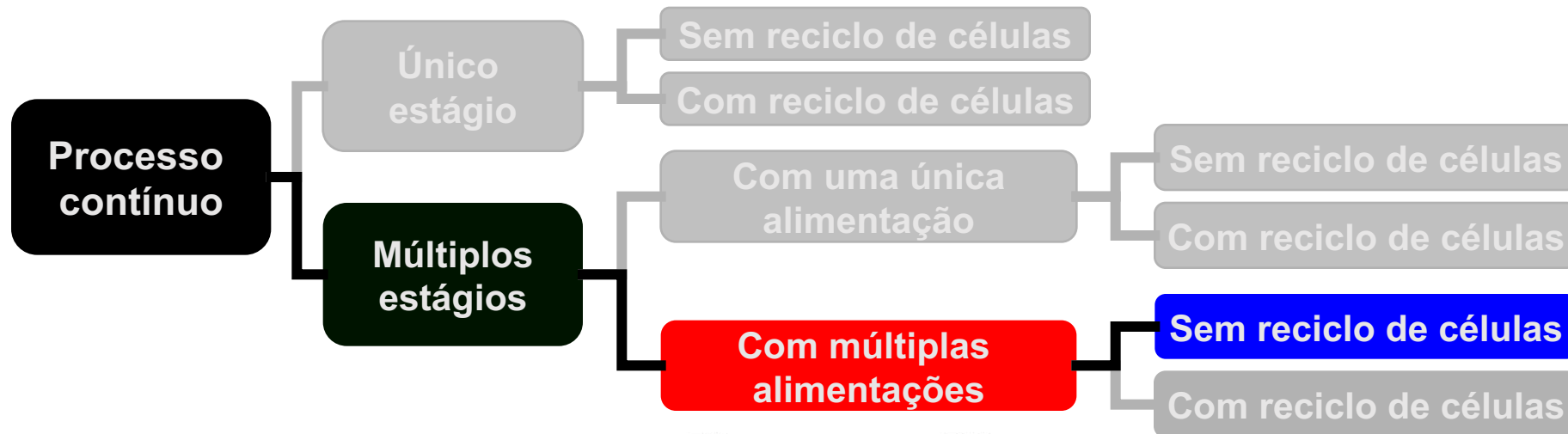
# Processo Contínuo



# Processo Contínuo

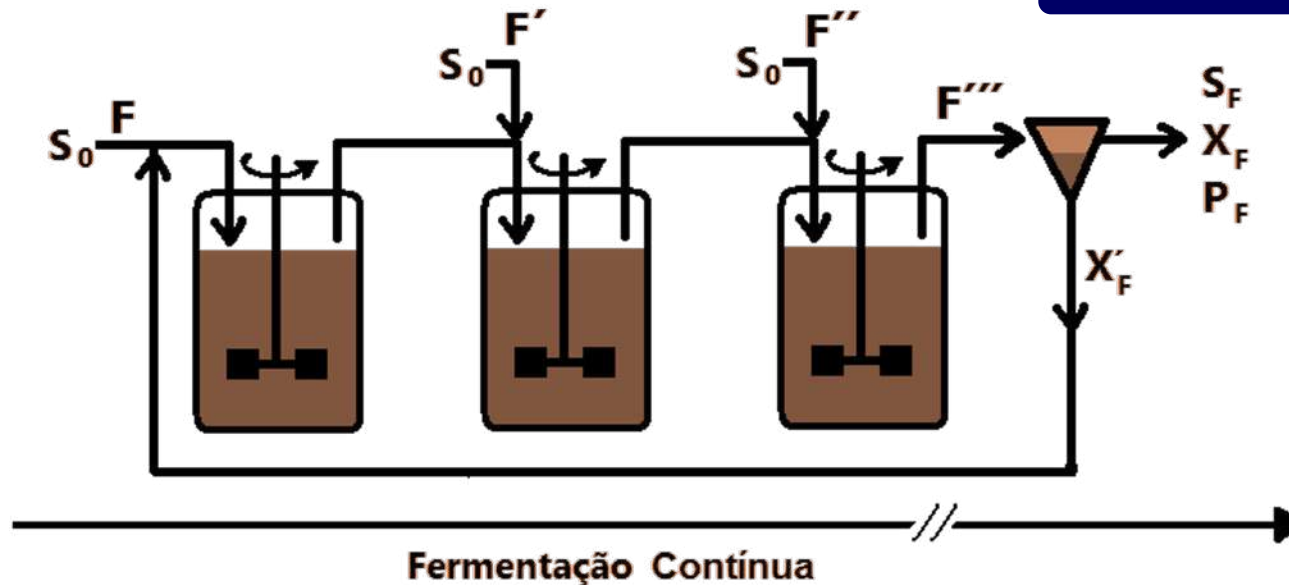
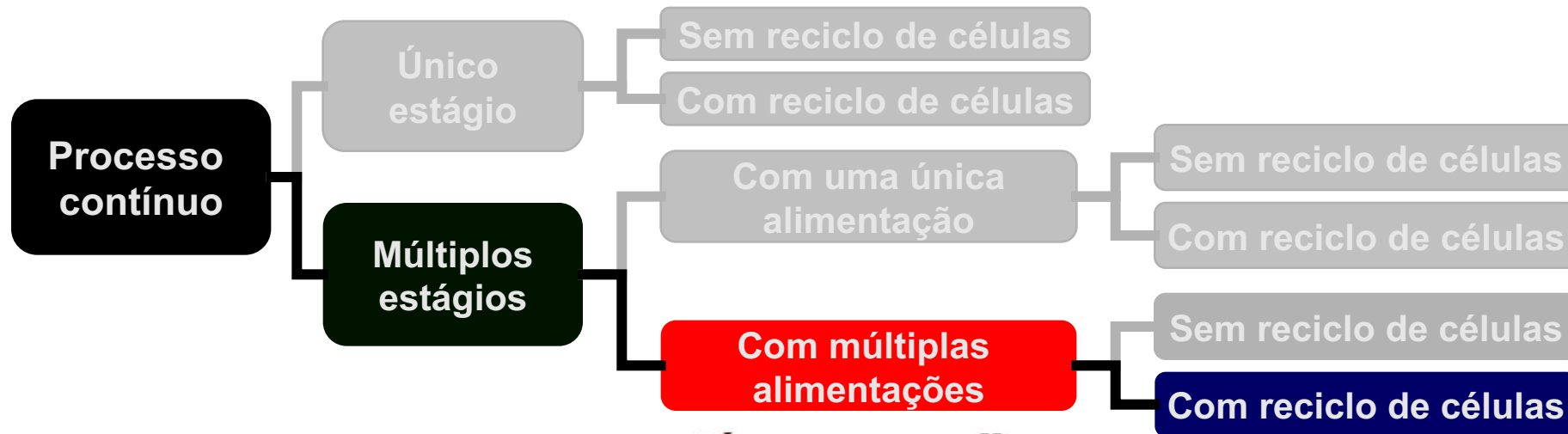


# Processo Contínuo





# Processo Contínuo



# Processo Contínuo

## Vantagens em relação ao descontínuo:

- Aumento da produtividade do processo;
- Manutenção das células em um mesmo estado fisiológico;
- Maior uniformidade do processo;
- Possibilidade de associação com outras operações contínuas na linha de produção;
- Menor necessidade de mão-de-obra.

## Desvantagens em relação ao descontínuo:

- Maior investimento inicial;
- Possibilidade de ocorrência de mutação genética espontânea (com consequente queda da produtividade);
- Maior possibilidade de contaminação;
- Dificuldade de manutenção da homogeneidade;
- Dificuldade de operação em estado estacionário em determinados processos.

# Processo Contínuo

## Aplicações:

- A utilização do processo contínuo de fermentação encontra grandes aplicações práticas, como: *fermentação alcoólica, tratamento de resíduos.*
- Estes casos citados são processos não assépticos.
- Em processos em que se necessita de maior assepsia, como produção de enzimas e antibióticos, o processo contínuo encontra ainda aplicações restritas.

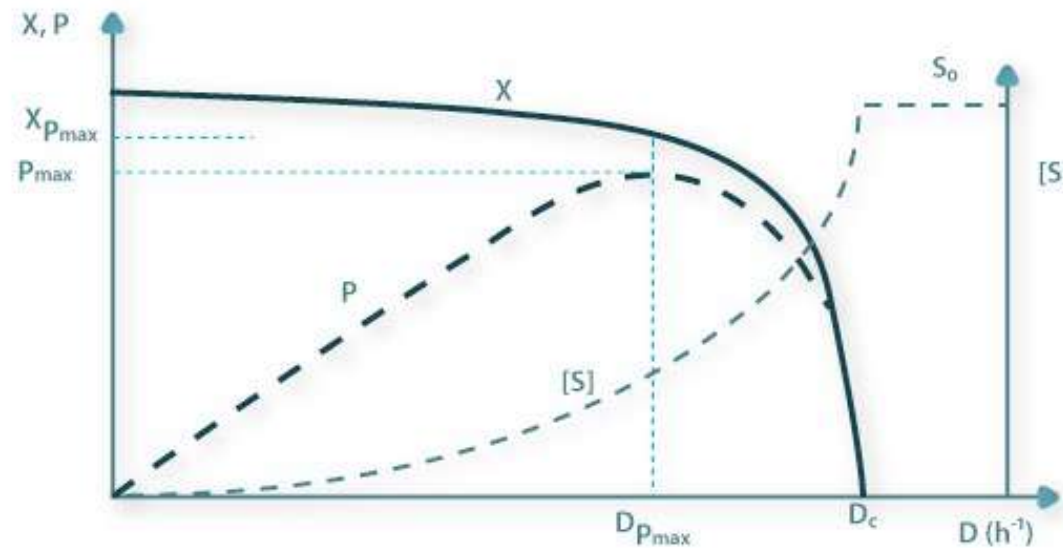
# Fermentadores e o tratamento de resíduos

# Tratamento biológico de resíduos

Deve-se operar o reator com baixos valores de  $D$



Obter um efluente com baixos valores de concentração de substrato



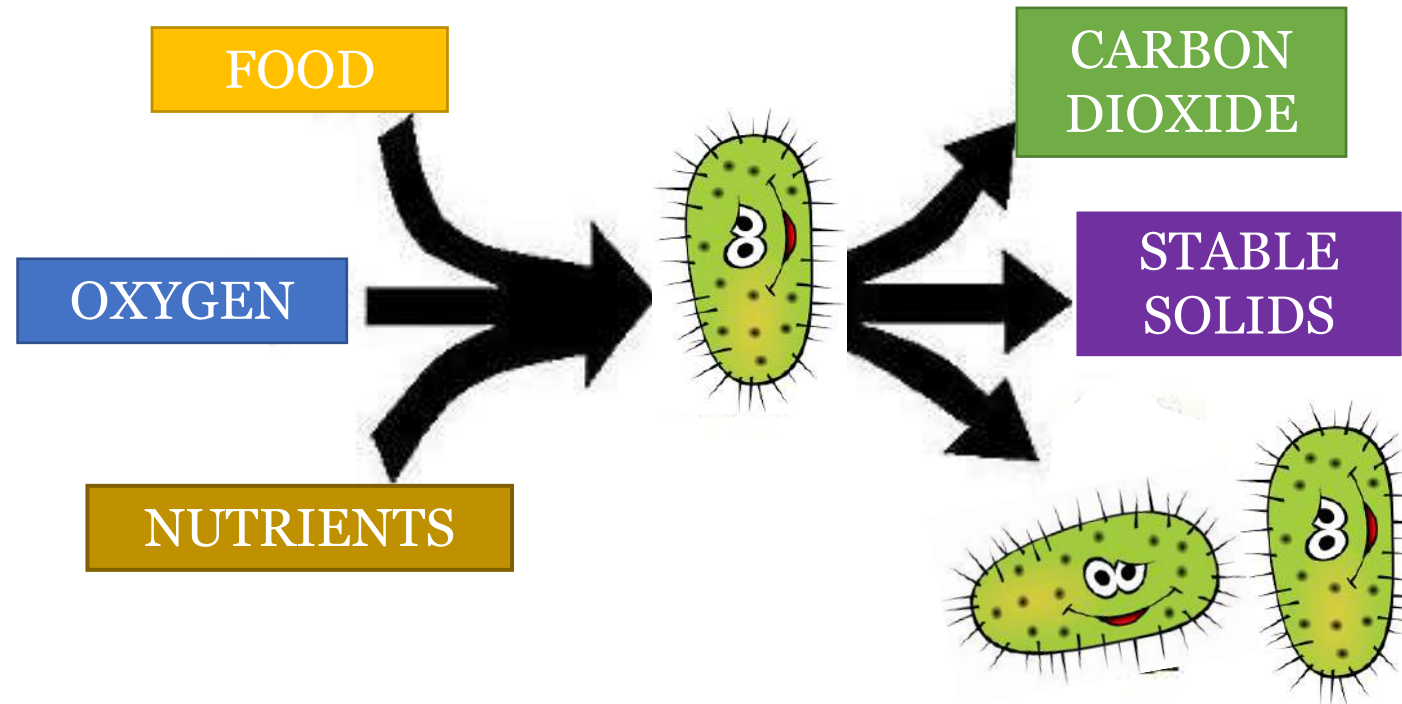
# Lodos ativados

Lodo ativado é o lodo resultante de um processo de tratamento de esgoto destinado à destruição de poluentes orgânicos biodegradáveis presentes em águas residuais, efluentes e esgotos

O lodo ativado é formado, principalmente por bactérias, algas, fungos e protozoários. As bactérias são as responsáveis da degradação da matéria orgânica e da formação dos flocos



## Under the correct environmental conditions



O processo se baseia na oxidação da matéria orgânica, por bactérias aeróbias, controlada pelo excesso de oxigênio em tanques de aeração e posteriormente direcionado aos decantadores.

O lodo decantado nos decantadores retorna ao tanque de aeração como forma de reativação da população de bactérias no tanque de aeração.

# Conceito do Processo

Partes integrantes da etapa biológica do sistema de lodos ativados (fluxo do líquido)

- Tanque de aeração (reator);
- Tanque de decantação (decantador secundário);
- Recirculação do lodo para o tanque de aeração

<https://www.youtube.com/watch?v=aCeG33EzMrl>

Vídeo ilustrativo de funcionamento da Estação para Tratamento de Esgoto Sanitário ALFAMEC.