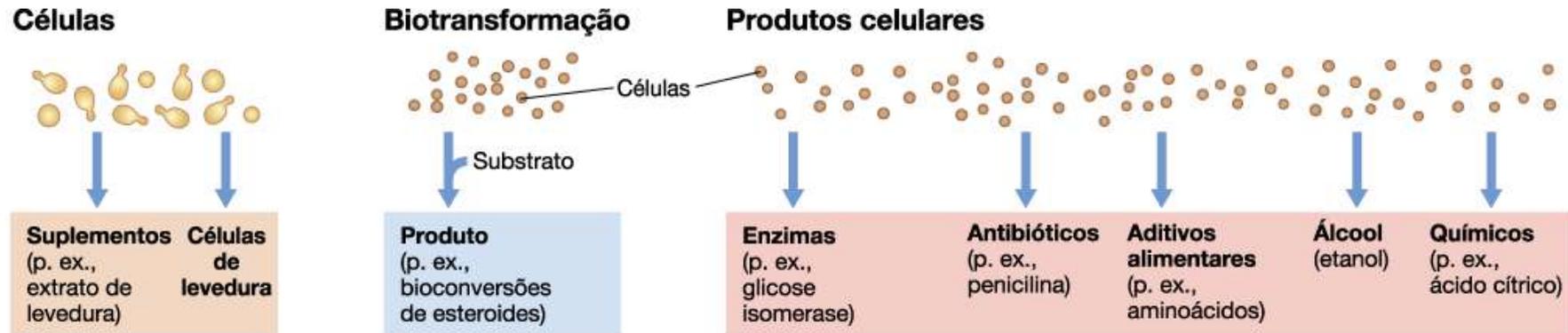


Fermentação contínua e descontínua: aplicações e vantagens



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
Mutações
Melhoramento genético

Definição do meio de cultivo:

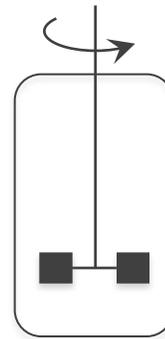
Matéria-prima sintética/naturais
(fontes de C, nutrientes...)
Resíduos agroindustriais
Micronutrientes (cofatores)

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

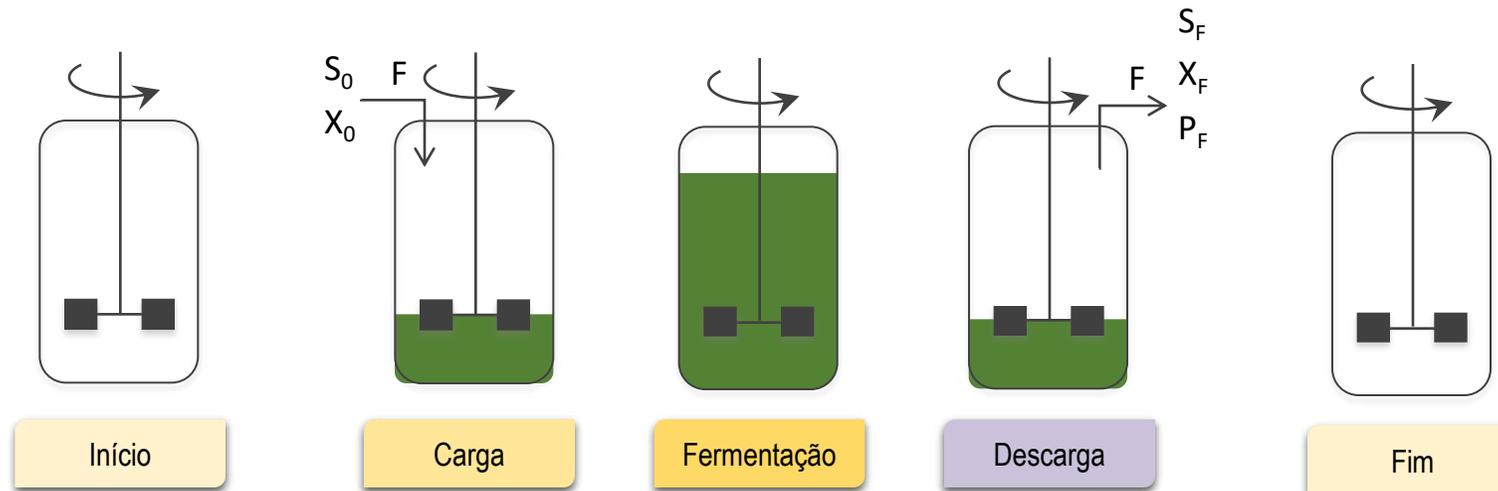
➤ 4. Contínuo

- 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:

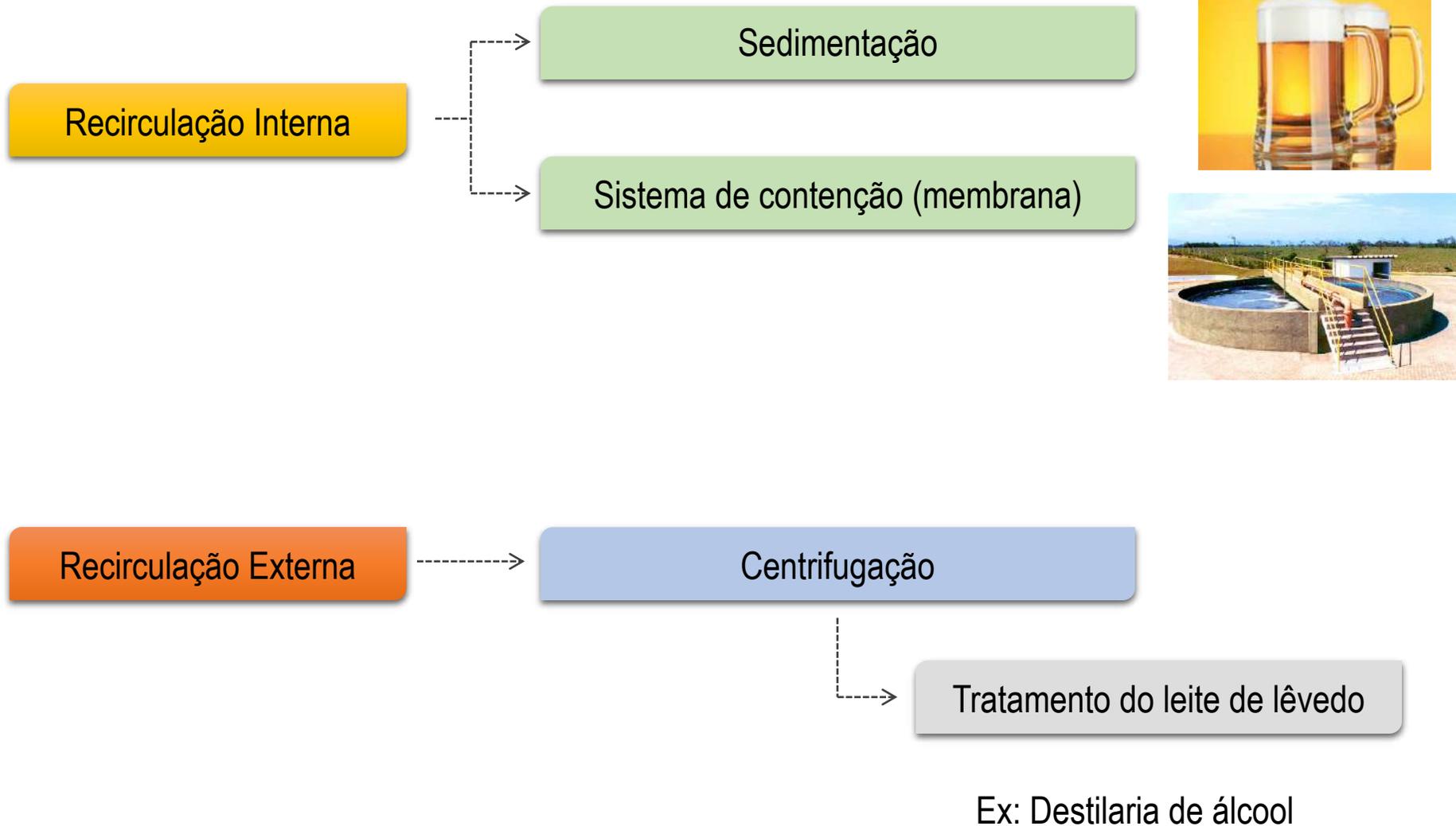
- É o mais utilizado na produção de alimentos e bebidas, como: *iogurte, cerveja, vinho, pickles, chucrute, etc.*
- Permite o conhecimento básico da cinética de fermentação, para que se possa propor alternativas de condução de processo.

Na prática:

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

Primeira alternativa: recircular as células

Exemplos:

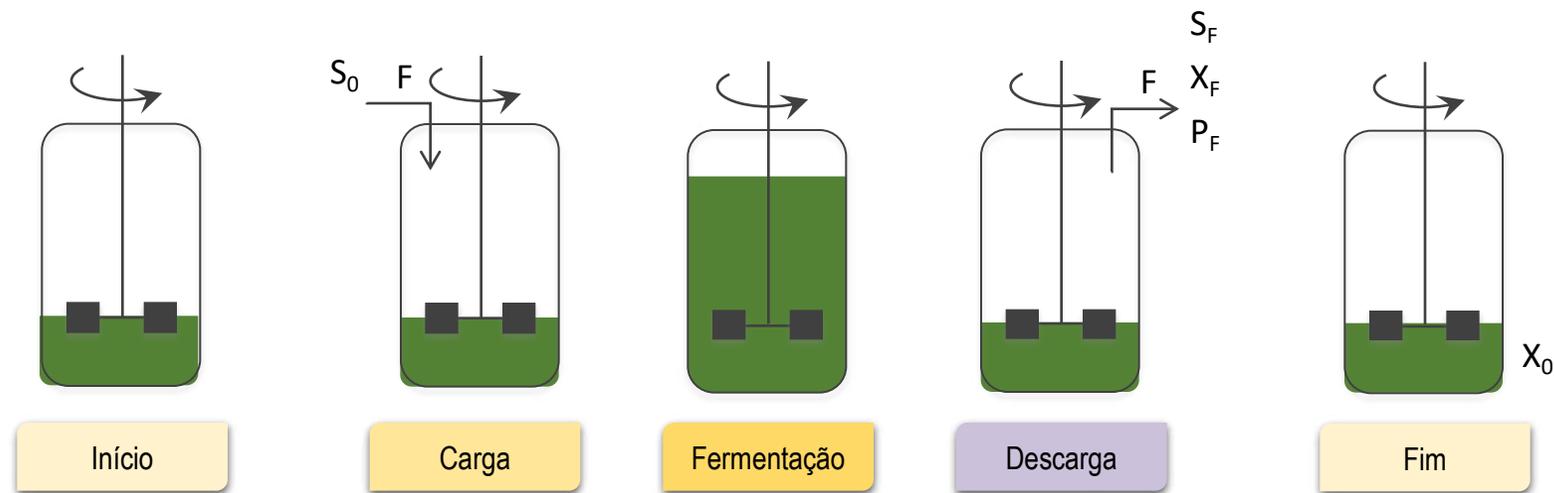


Processo Descontínuo (Com reaproveitamento de inóculo)

É utilizado como inóculo as células da fermentação anterior

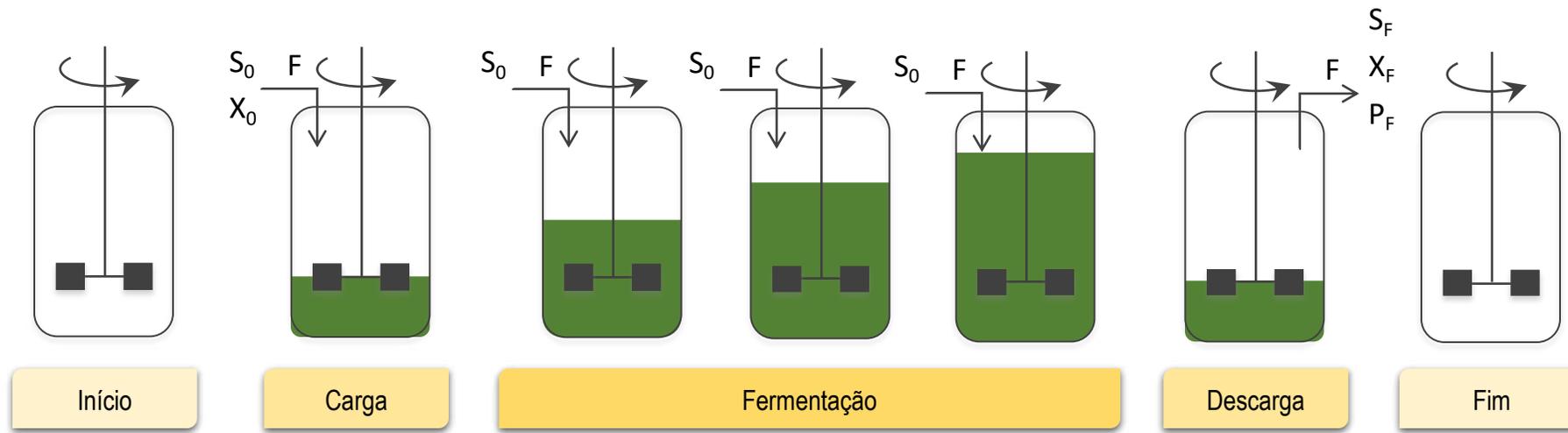
Vantagens:

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

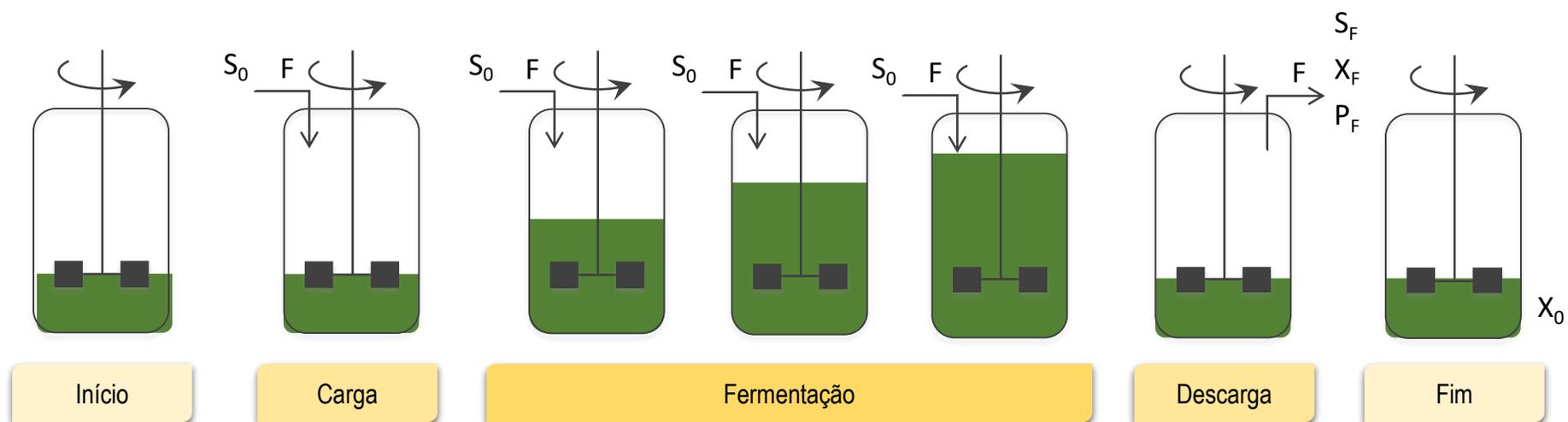


2. Processo Descontínuo Alimentado

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

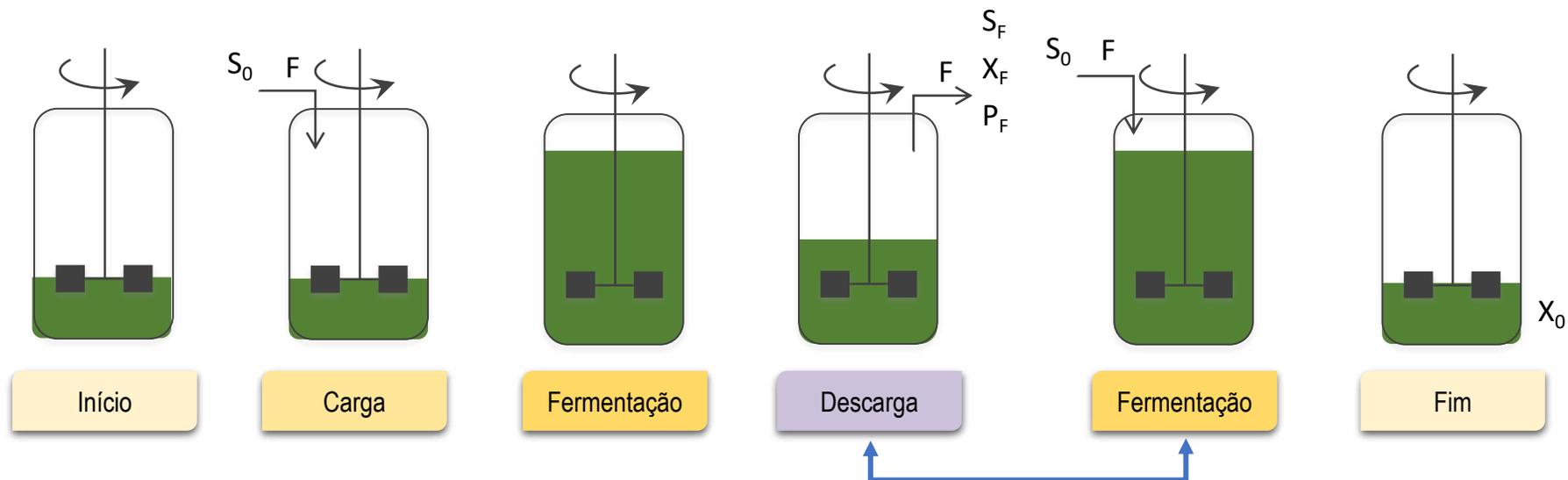
Exemplos: concentração de glicose superiores a 100 g/L podem causar inibição em fermentação alcoólica com *Saccharomyces cerevisiae*

- 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:

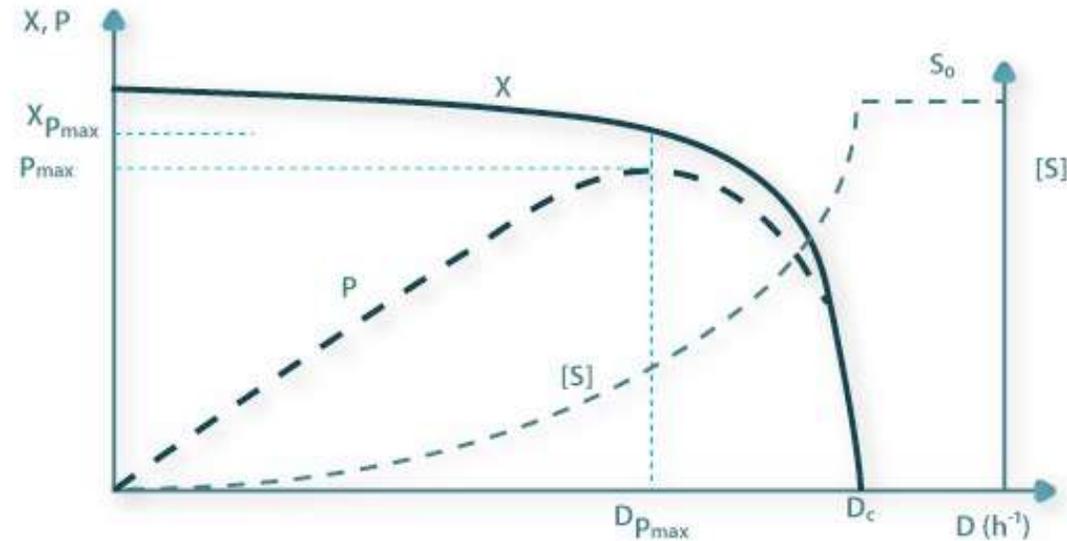
- Operação por choque de carga de substrato (Exemplo: produção de enzimas sujeitas ao controle por indução)
- Poucas aplicações, principalmente para volumes de produção pequenos, como o antigo processo de fabricação de vinagres a partir de vinho

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 :



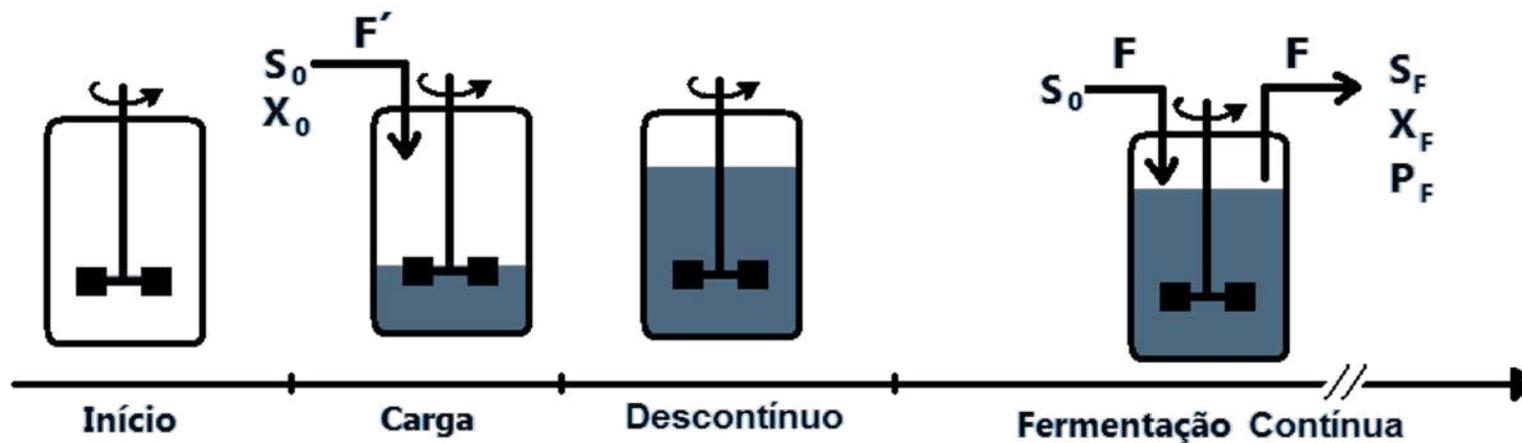
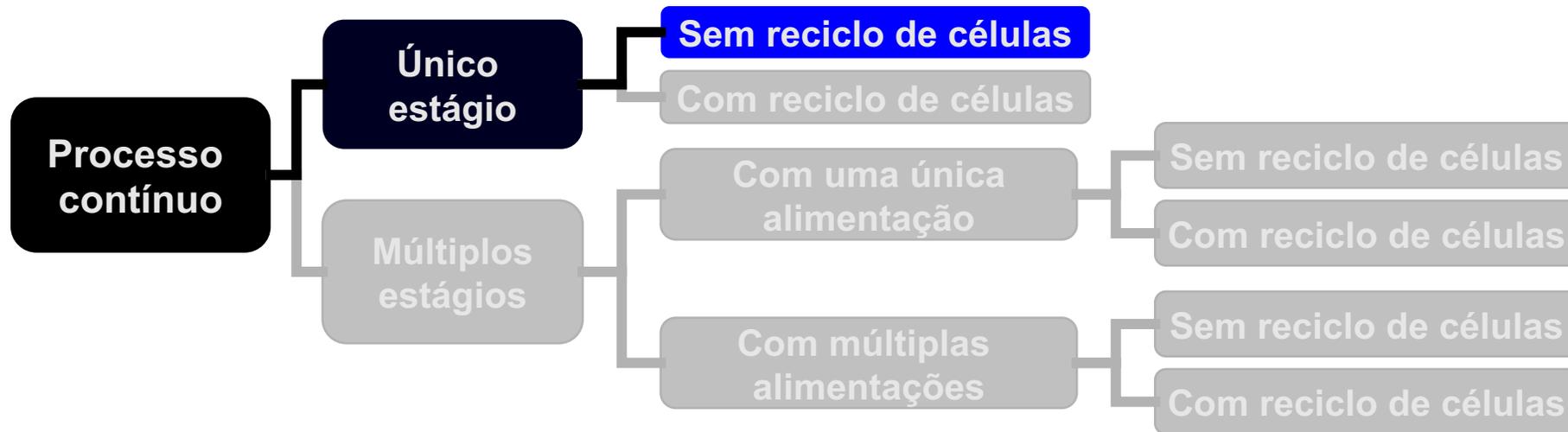
$$D = F/V \text{ (h}^{-1}\text{)}$$

$$\mu = D$$

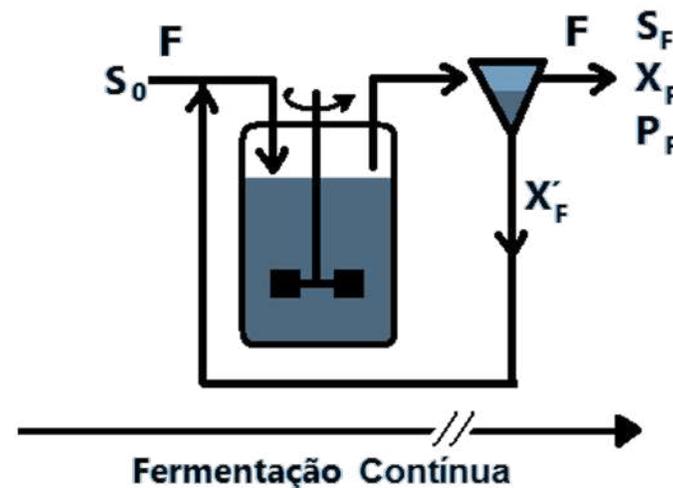
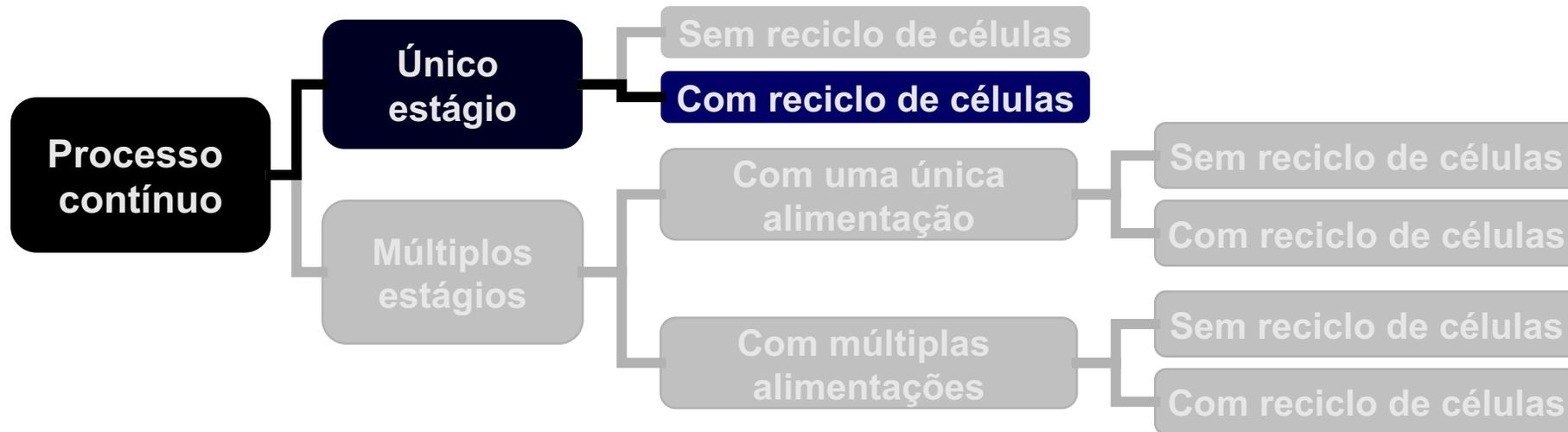
F (unidades de volume/tempo)=
(L/h) ou (mL/min)

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 (μ) → se pode fixar o estado fisiológico das células

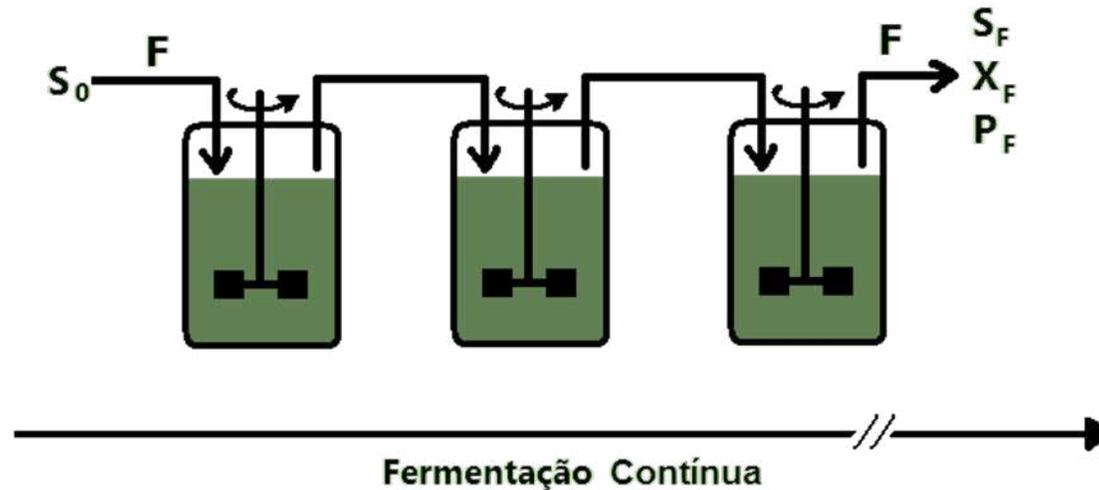
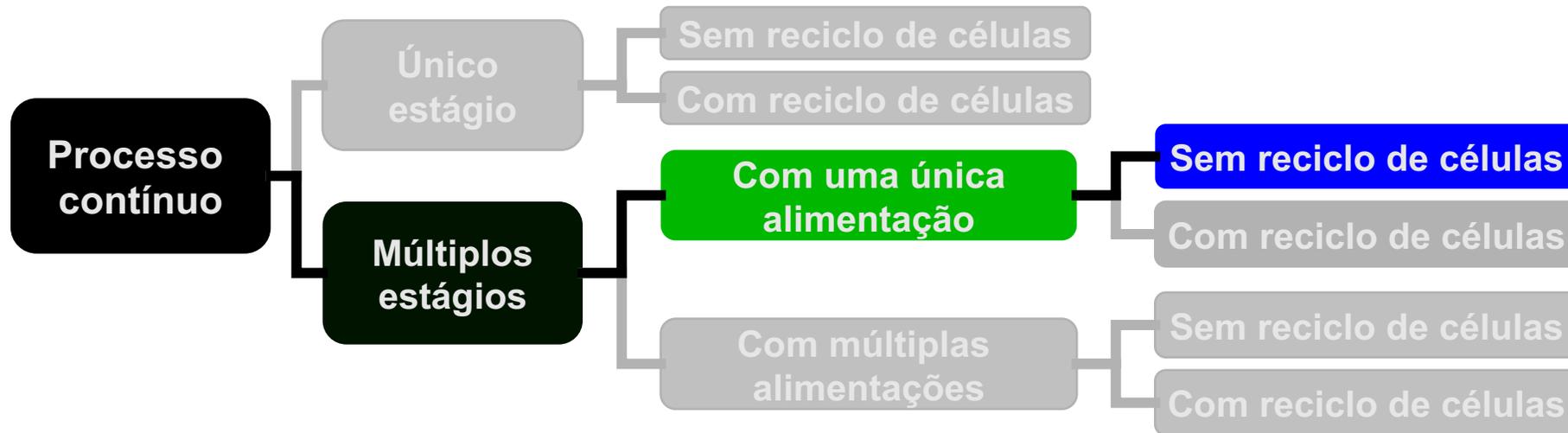
Processo Contínuo



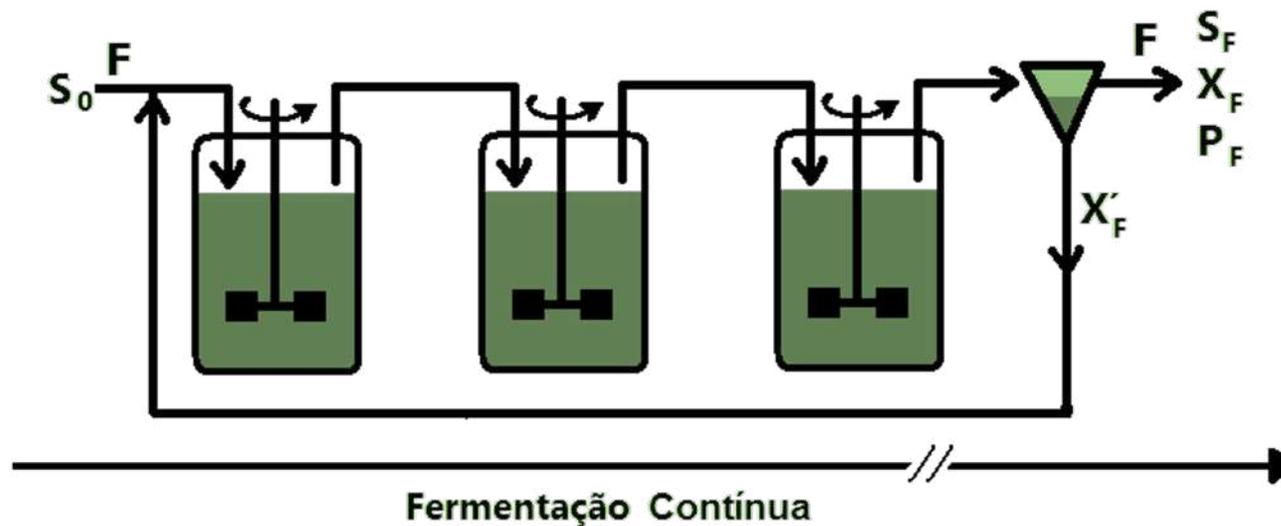
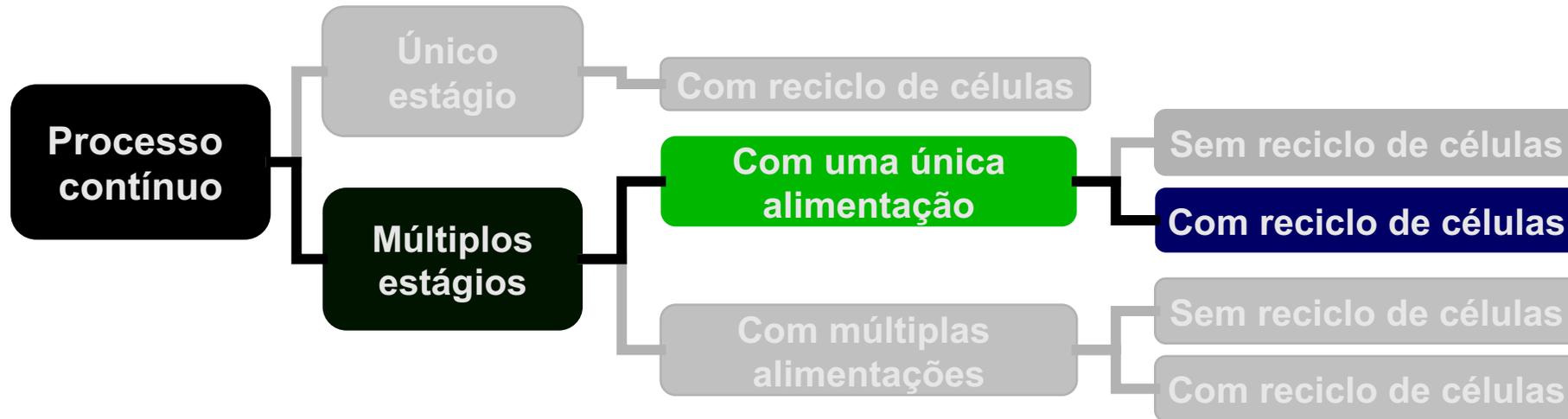
Processo Contínuo



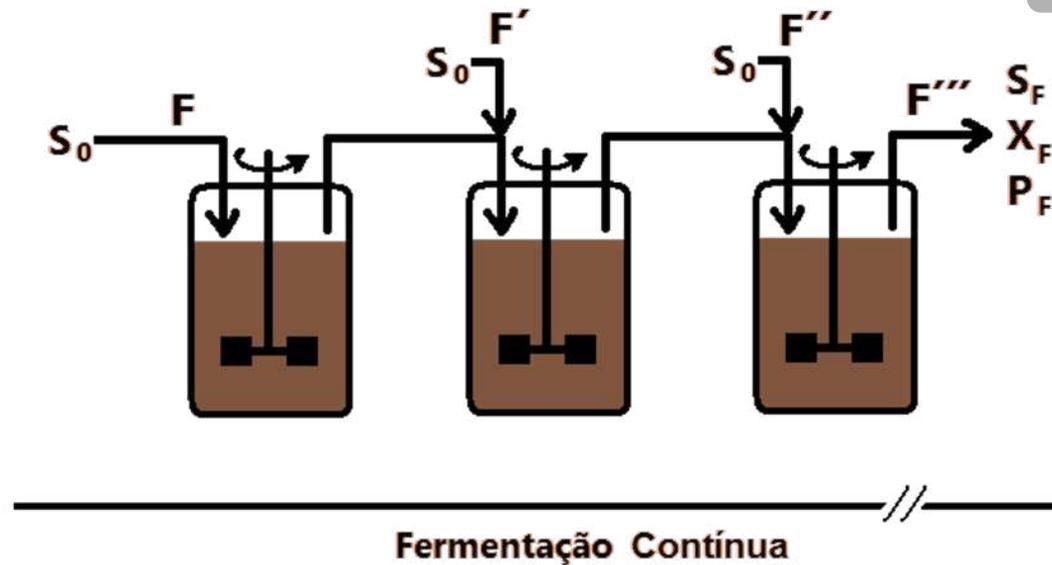
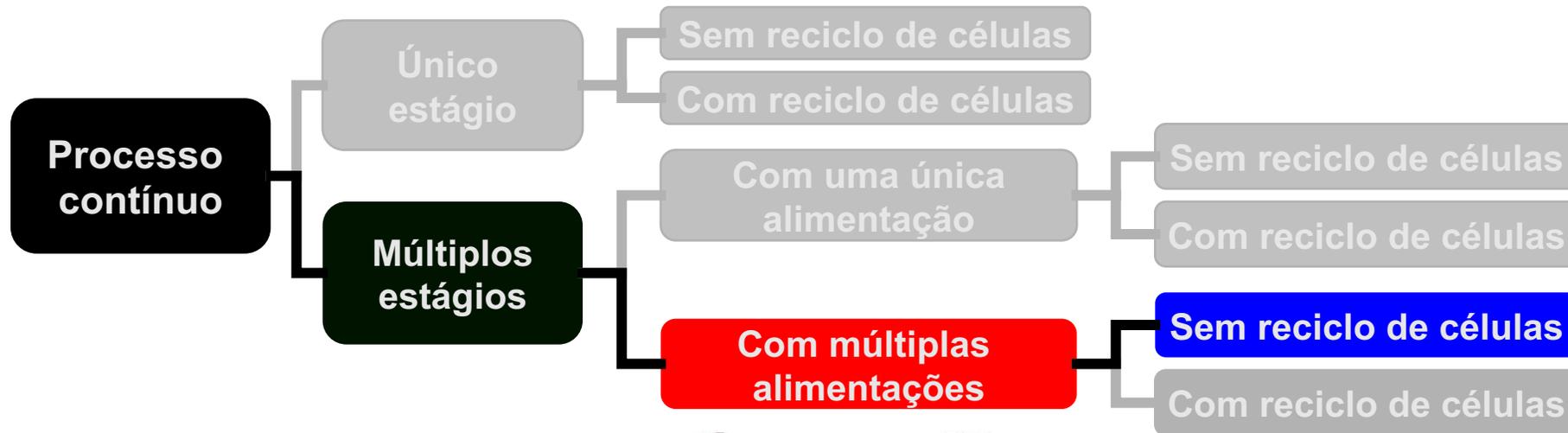
Processo Contínuo



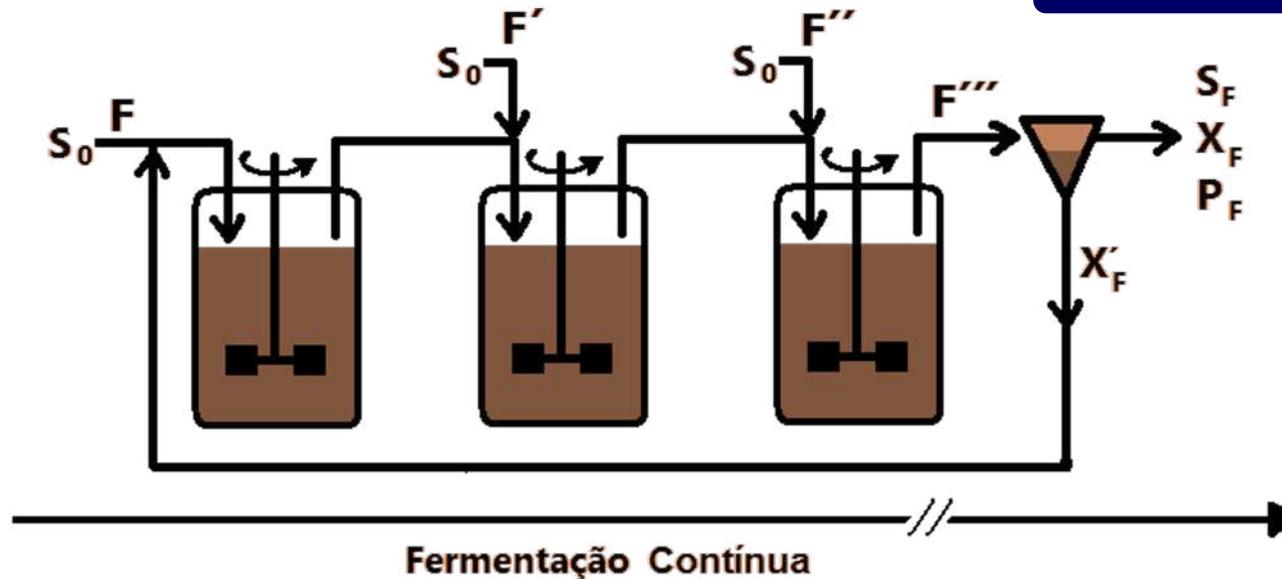
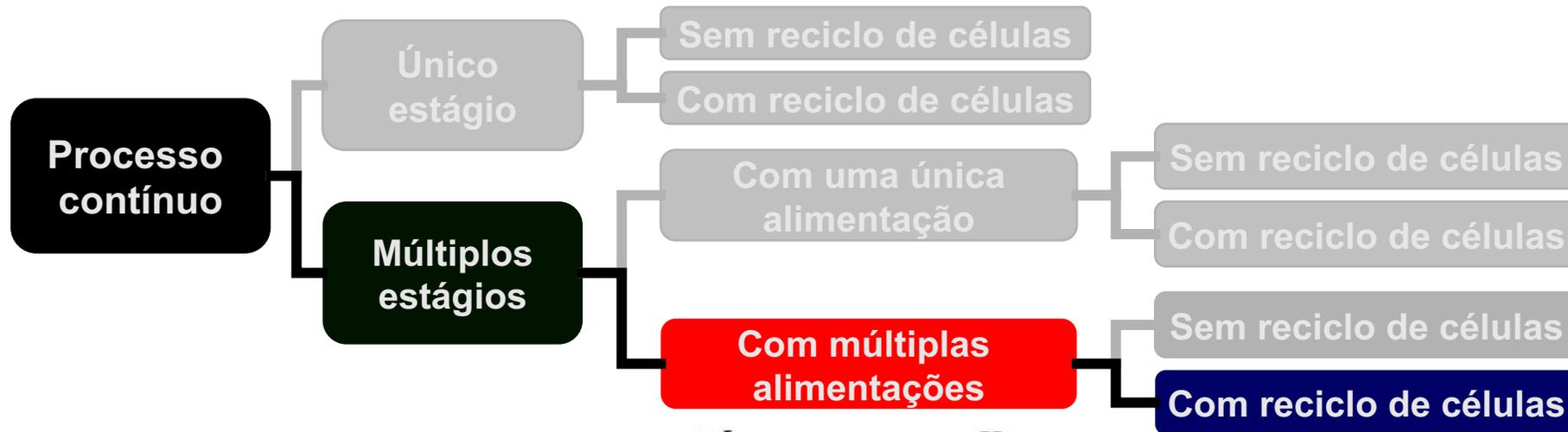
Processo Contínuo



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.

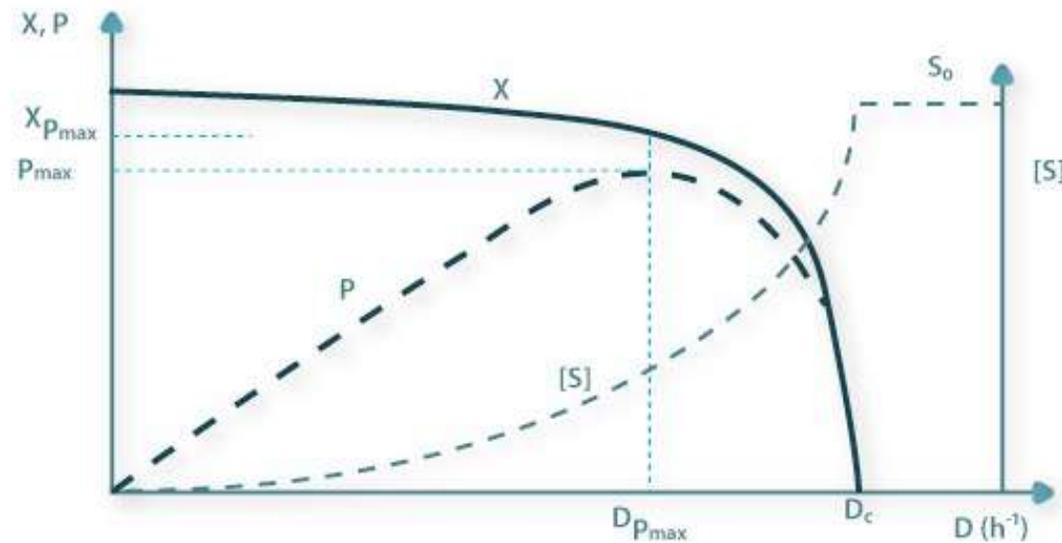
Fermentadores e o tratamento de resíduos

Tratamento biológico de resíduos

Deve-se operar o reator com baixos valores de D



Obter um efluente com baixos valores de concentração de substrato



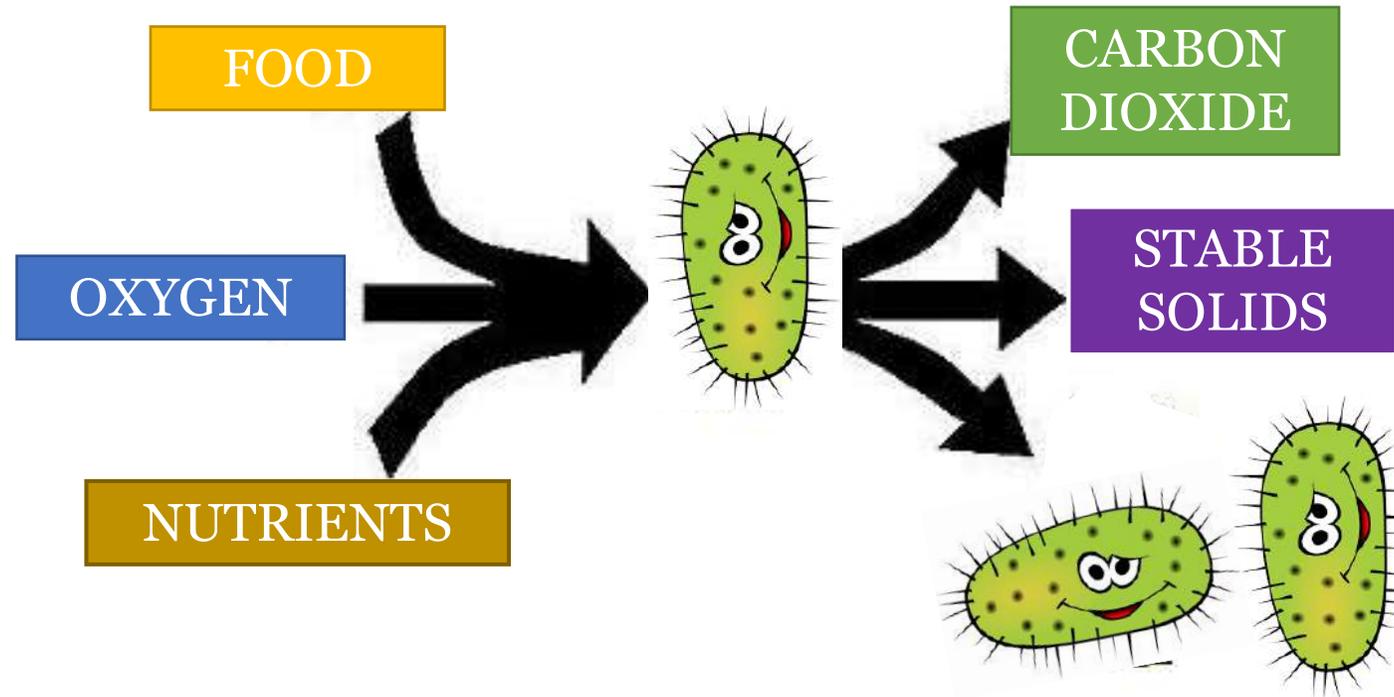
Lodos ativados

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.