



Universidade Federal de São Paulo  
Campus Baixada Santista  
Departamento de Ciências do Mar

# **Biodigestores tratando resíduos e gerando energia**

Prof. Eduardo Dellosso Penteado  
([eduardo.penteado@unifesp.br](mailto:eduardo.penteado@unifesp.br))

# Objetivos



- Entender **o que é biodigestor**;
- Compreender os **diferentes modos de operação e construção** do biodigestor;
- Familiarizar com os **biodigestores de baixa e alta taxa**.

# Introdução

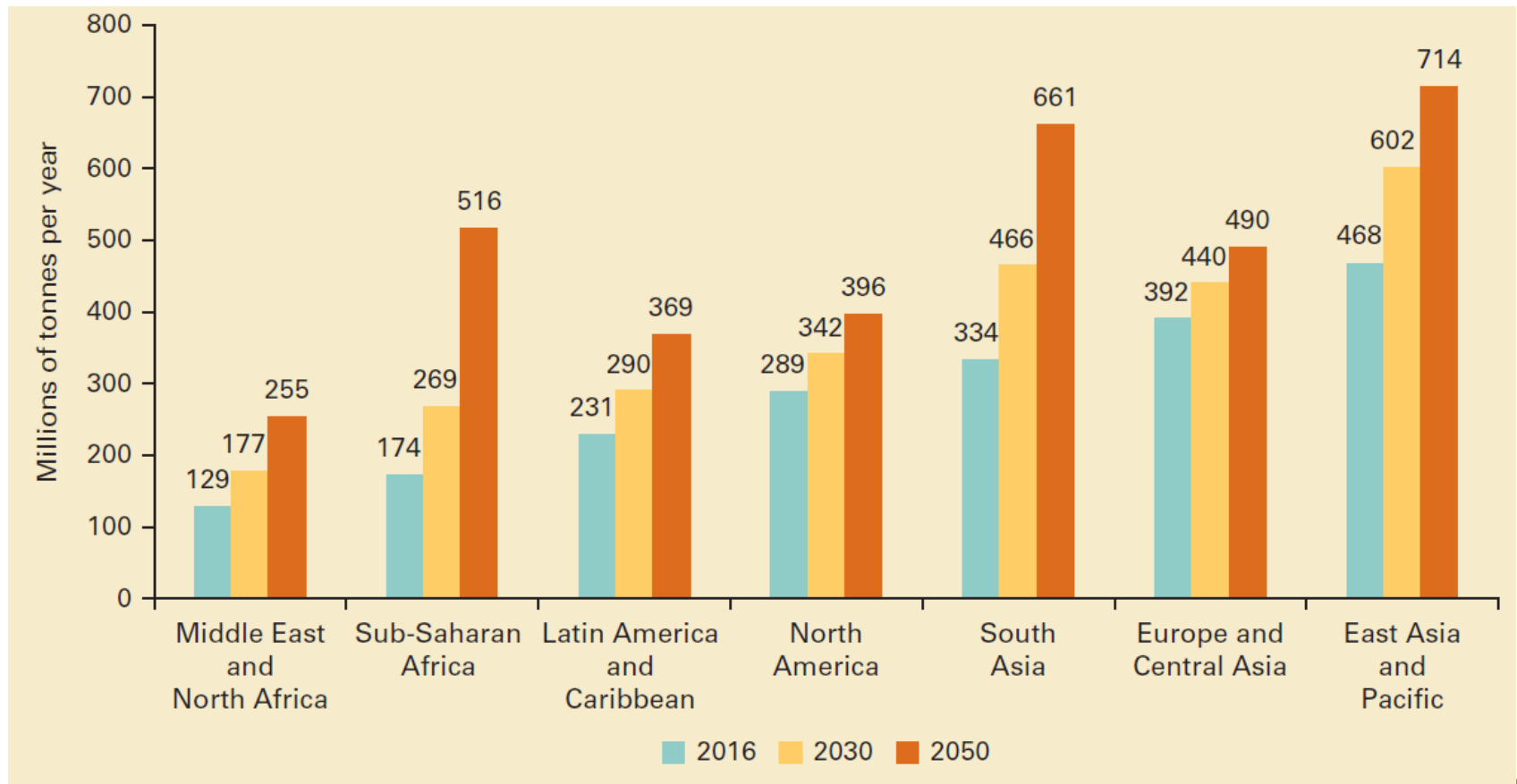
## ➤ Quanto de resíduos são gerados?

- Abrelpe (Associação Brasileira das empresas de limpeza pública e resíduos especiais) - 82 milhões de toneladas
- **1 kg de resíduos sólidos por dia**



# Introdução

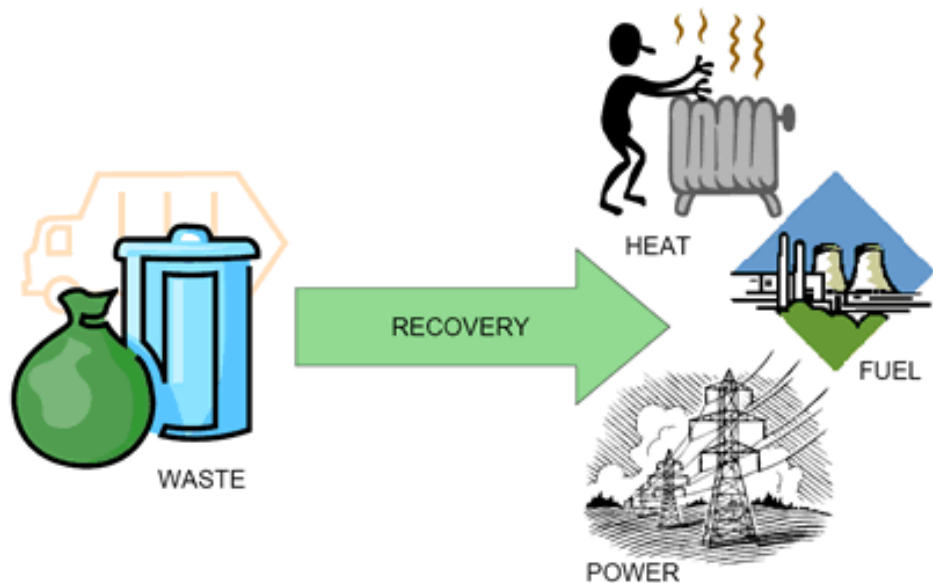
- Para 2050, espera-se um aumento de 350% na geração de resíduos sólidos (Banco Mundial e ONU)



# Introdução

## ➤ Geração de energia a partir do tratamento de resíduos

- Biogás
- Biohidrogênio
- Bioeletricidade



# PRODUÇÃO DE BIOGÁS

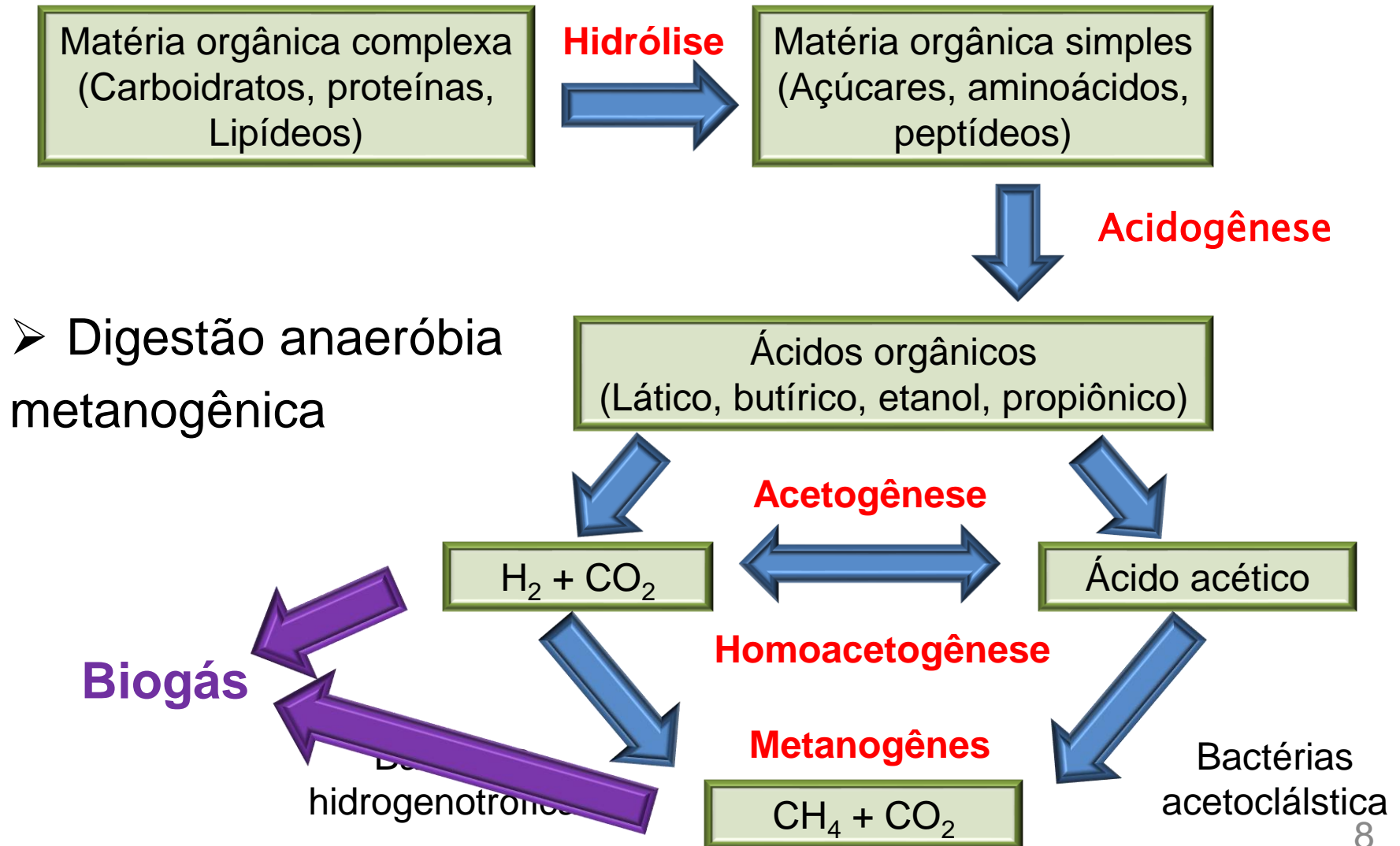
# Produção de Biogás

## ➤ Biogás - Mistura Gasosa

- **CH<sub>4</sub>**, 60-80%;
  - Hidrocarboneto mais simples
  - Facilmente encontrado: vulcões, pântanos, herbívoros, exploração de combustível fóssil, decomposição da matéria orgânica.
  - 50% das emissões são antropogênicas;
  - Efeito estufa (60 vezes maior que CO<sub>2</sub>).
- **CO<sub>2</sub>**, 25-45%;
- **H<sub>2</sub>O**, 2-7%;
- **Traços de N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S.**



# Produção de Biogás





# Produção de Biogás

- Materiais orgânicos usados no biodigestor podem ser os resíduos:
  - **Vegetal (folhas, palhas, restos de cultura);**
  - **Animal (como esterco e urina);**
  - **Atividades humanas (fezes, urina, lixo doméstico);**
  - **Resíduos industriais.**



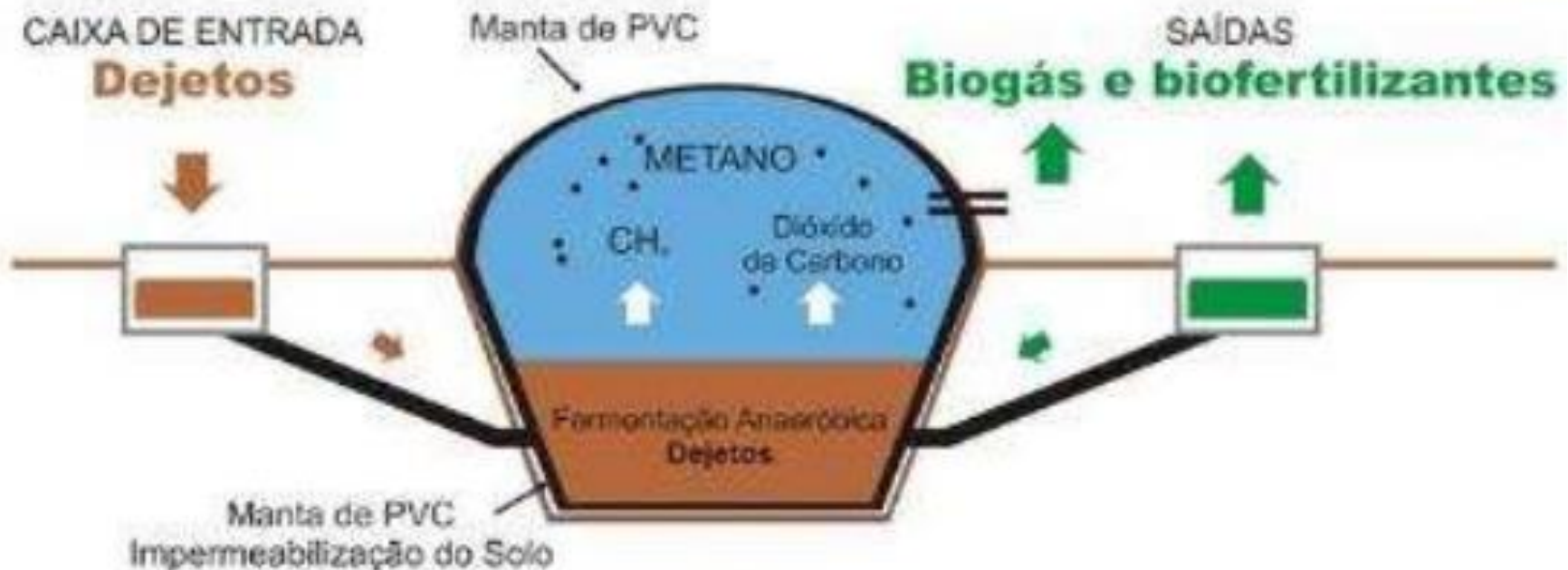
# Produção de Biogás

- **Composição química** - substância de difícil digestão ou tóxicas influenciam o processo.
- **7 a 9% matéria seca (ST):** 100 L de substrato  $\pm$  8 kg de matéria seca.
  - Adicionar água no processo.
- **Teor de sólidos voláteis**
  - $\uparrow$ SV  $\uparrow$ CH<sub>4</sub>, até um limite.
- **Relação C/N** - ótima na faixa de **20 a 30:1**.
  - Maioria dos dejetos **possuem baixa relação C/N** (possuem  **muito nitrogênio**) e dever ser corrigidos com resíduos vegetais.

# BIODIGESTORES

# Biodigestores

- Resíduos sejam reaproveitados através da biodigestão anaeróbia, produzindo biogás e biofertilizante.



# Biodigestor

- **Diversos tipos de biodigestores**, cada um com **características próprias** de operação, que **dependem do :**
  - **Tipo de material usado;**
  - **Condições locais;**
  - **Disponibilidade de substrato;**
  - **Experiência e conhecimento do construtor/operador;**
  - **Investimento envolvido.**

# Biodigestores

Tecnologia	Pontos-chave	Opções
Sistema de alimentação	Tipo de biodigestor e de matéria-prima para alimentação	Descontínua para batelada Contínua ou semicontínua para fluxo Sólido ou líquido, conteúdo da matéria seca do substrato
Temperatura do reator	Risco para patógenos*	Mesofílicas (não há patógenos) Termofílicas (há patógenos)
Número de fases	Composição de substratos, risco de acidificação	Uma fase Duas fases (substratos ricos em açúcar, amido, proteínas ou de difícil degradação)
Sistema de agitação	Matéria-prima	Agitadores mecânicos (alta ST) Sistemas de agitação mecânica, hidráulica ou pneumática (baixas ST)

# Biodigestor

- Modos de operação de biodigestores
  - **Contínuos:** dejetos são inseridos continuamente no sistema.
    - Ex.: Indiano, Chinês e Canadense.
  - **Descontínuos:** dejetos são inseridos de uma só vez e o sistema mantido fechado durante o processo.
    - Simples e de pequena exigência operacional.
    - Resíduos em grandes quantidades em um curto espaço de tempo

Existem, atualmente uma gama muito grande de modelos de biodigestores, sendo cada um adaptado a uma realidade e uma necessidade de biogás

# **BIODIGESTORES RURAIS/ PEQUENAS COMUNIDADES**



# Biodigestores rurais/ Pequenas comunidades

- Reatores anaeróbios concebidos para tratar **resíduos semi-sólidos**;
- **Tanques simples, sem recirculação de lodo com ou sem agitação.**
- **Tempos de retenção** variam de **15 a 60 dias.**
- Reatores anaeróbios **convencionais**, de **baixa taxa.**

# Biodigestores rurais/ Pequenas comunidades

## ➤ Biodigestores infláveis



# Biodigestores rurais/ Pequenas comunidades

## ➤ Biodigestores infláveis



# Biodigestores rurais/ Pequenas comunidades

## ➤ Modelo Indiano

- **Enterrado no solo**
  - $\downarrow \Delta T$  em seu interior;
  - Dispensa reforços estruturais ➡ **Baixo custo de construção;**
- Ocupa pouco espaço (**maior extensão é vertical**);
- **Custo da cúpula** de metal e possibilidade de corrosão desta;
- Distância da propriedade pode dificultar e encarecer o **transporte**
- Não pode ser instalado **em terrenos com lençol freático alto;**

## Modelo Indiano



# Biodigestores Rurais/ Pequenas Comunidades

## ➤ Modelo Chinês

- Enterrado no solo

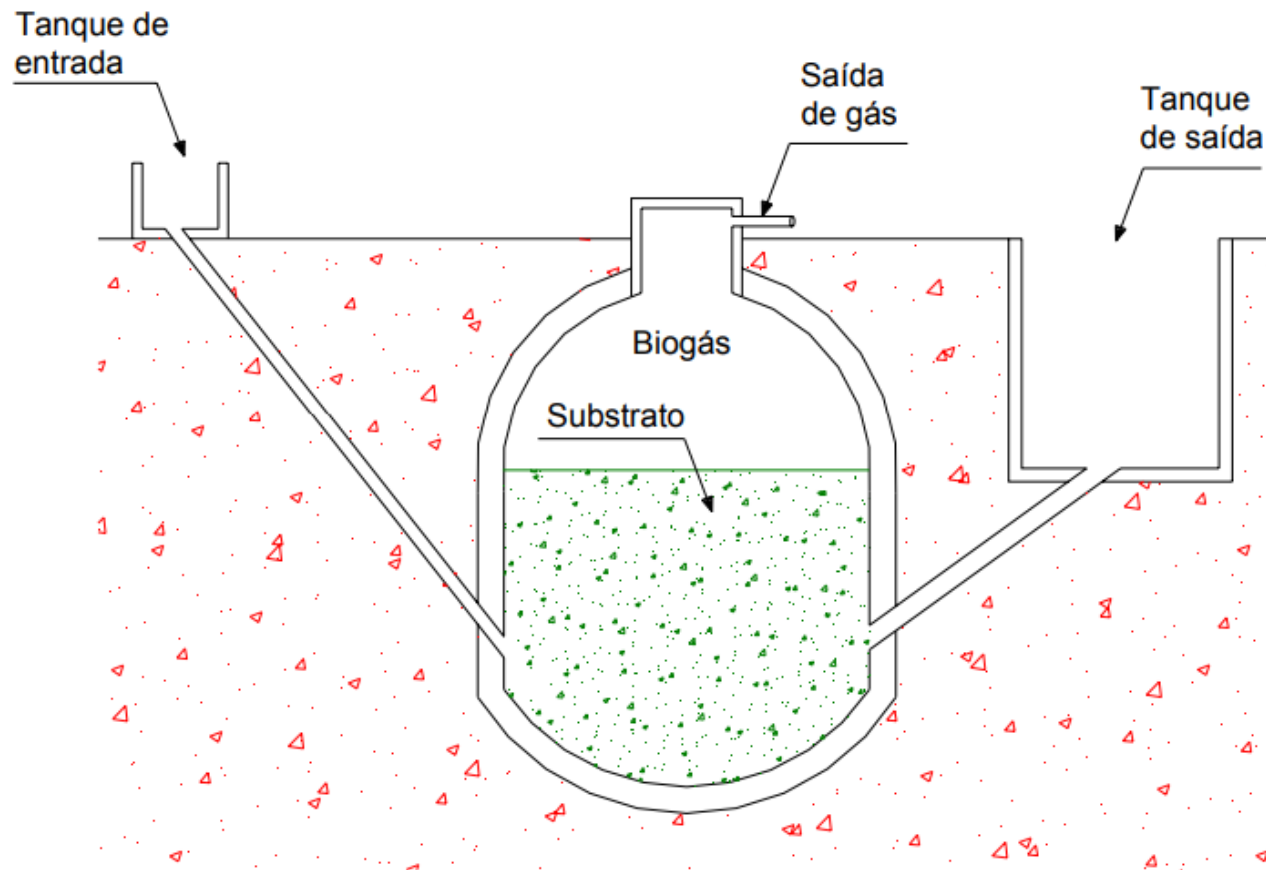
- $\downarrow \Delta T$  em seu interior;
- Menor áreas;

- Cúpula construída de alvenaria,

- Não armazena adequadamente biogás;
- Perdas em rachaduras devido aos solos.

# Biodigestores Rurais/ Pequenas Comunidades

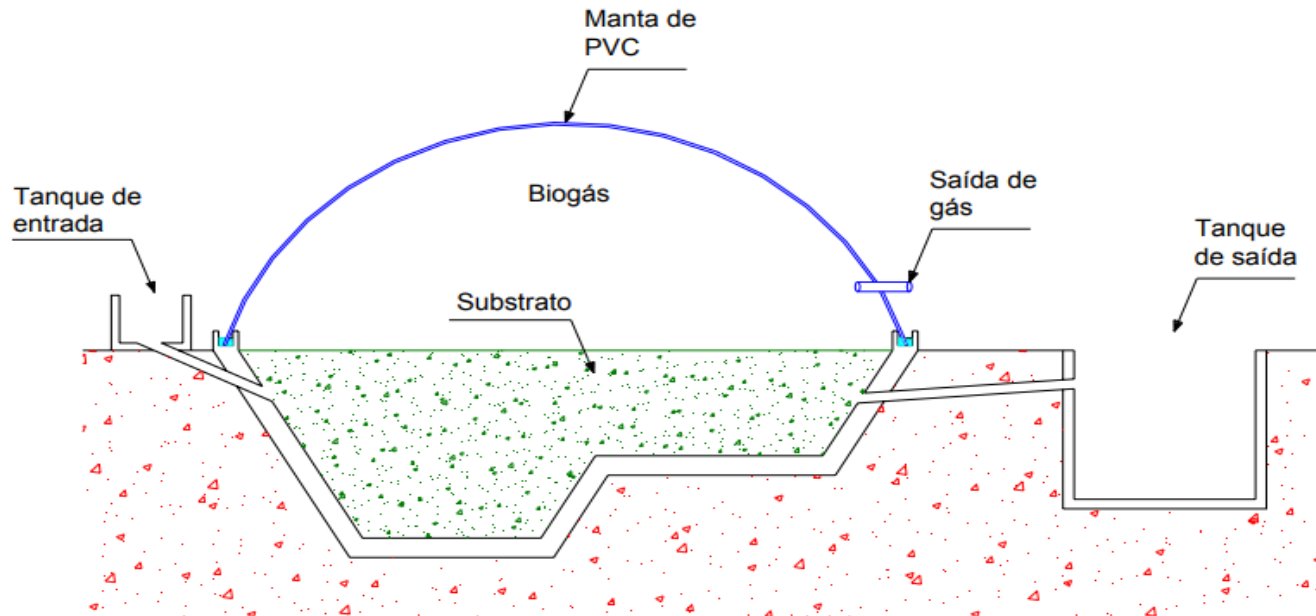
## ➤ Modelo Chinês



# Biodigestores Rurais/ Pequenas Comunidades

## ➤ Modelo Canadense/ da marinha/ Biodigestor de lagoa coberta (BLC)

- Retangular de alvenaria, onde deposita o substrato, e gasômetro de manta flexível fixa sobre uma valeta coberta de água que o circunda.





# Biodigestores Rurais/ Pequenas Comunidades

## ➤ Modelo Canadense/ da marinha

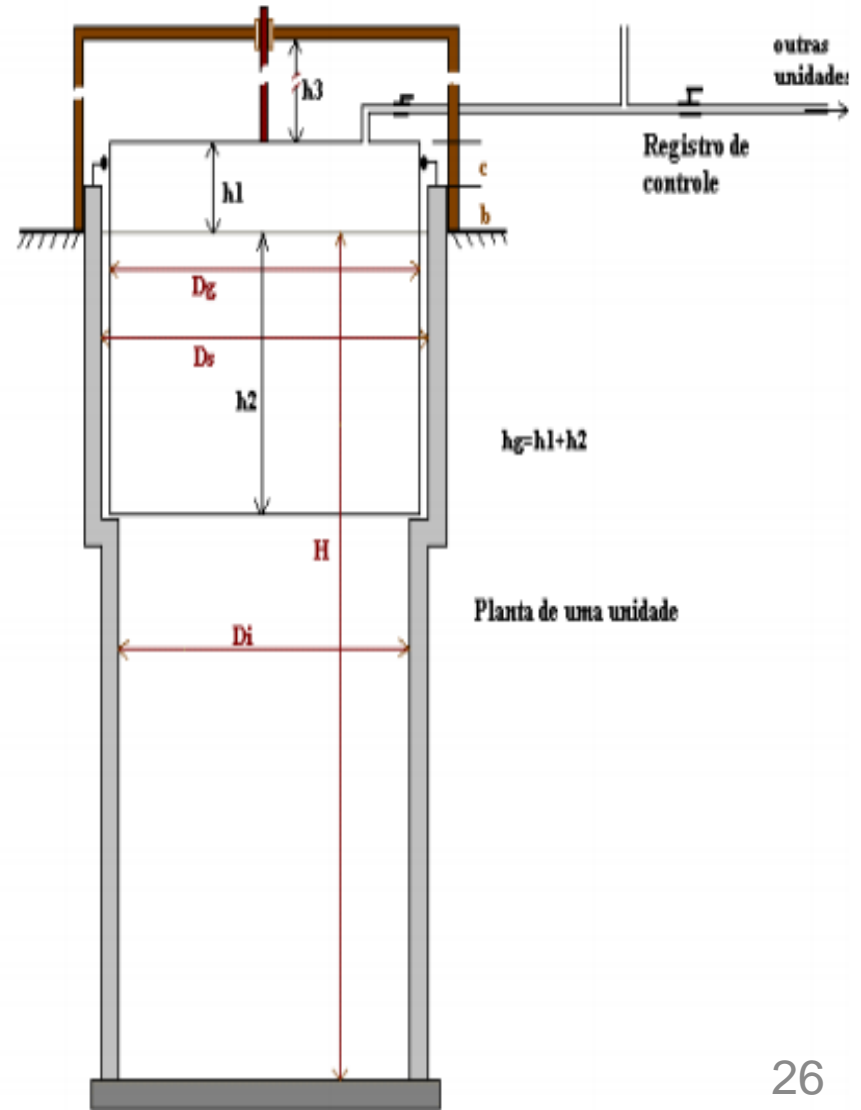
- Cobertura em **geomembrana sintética de PEAD** (grandes aplicações, resistente a UV O3 e compostos químicos), fixada por um sistema de ancoragem ao redor do perímetro do biodigestor.



# Biodigestores Rurais/ Pequenas Comunidades

## ➤ Modelo batelada

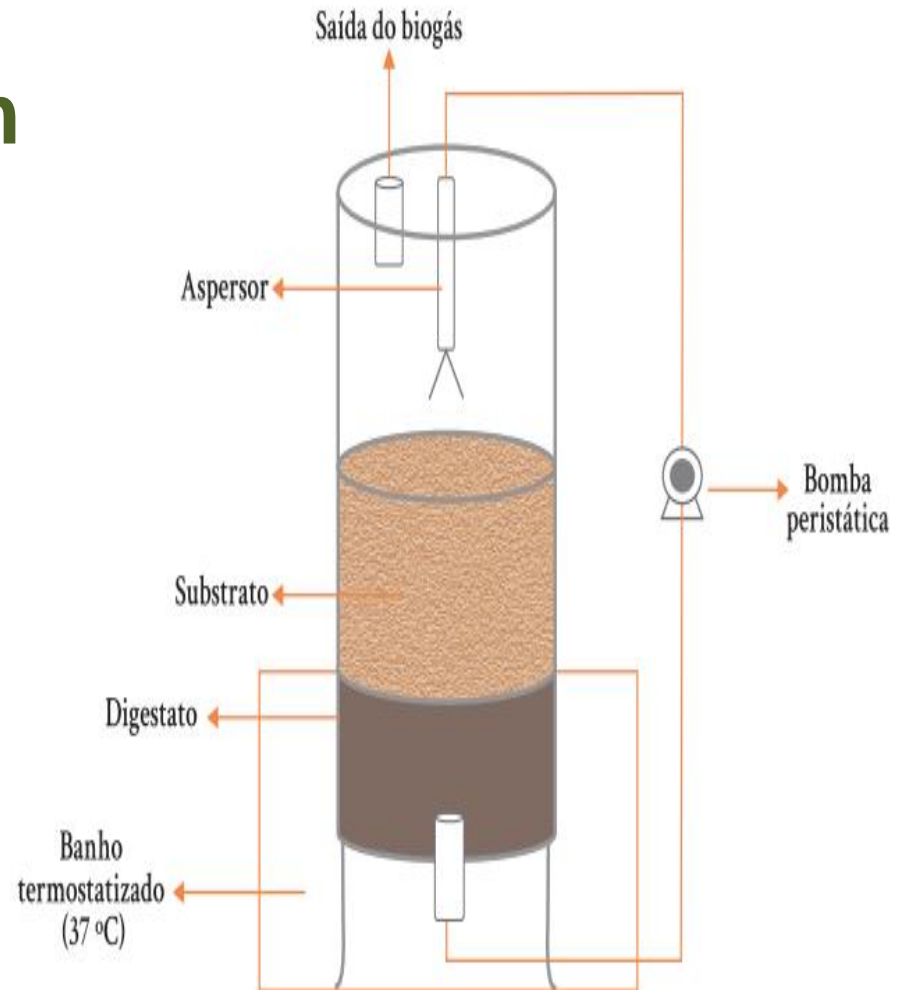
- Sistema simples
- Abastecido de uma única vez
- Indicado para disponibilidade de **biomassa ocorre em períodos curtos.**



# Biodigestores Rurais/ Pequenas Comunidades

## ➤ Modelo batelada para biodigestão em fase sólida

- TDH: 2 a 4 semanas
- Menor volume do biodigestor.
- Suporta até 40% ST
- Economia de água
- Alimentação descontínua.



# **BIODIGESTOR PARA GRANDES COMUNIDADES**

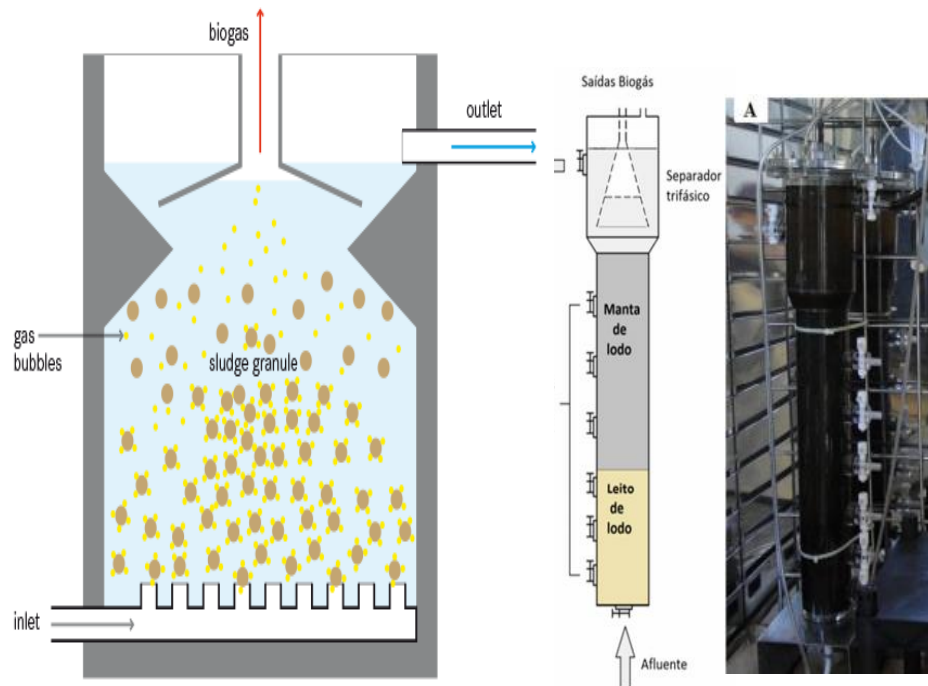
# Biodigestor para Grandes Comunidades

- A partir de 1970 - uma **nova concepção de reatores anaeróbios** para tratamento de efluentes líquidos.
- Baseado no princípio de **acúmulo de biomassa dentro do reator, pela sua retenção ou recirculação.**
- **TDH é diferente e independente do TDC,** possibilitando o tratamento de efluentes a TDH reduzidos (3 horas a 5 dias).
- Melhor contato biomassa/substrato;
- Melhor atividade da biomassa
- **Reatores anaeróbios de alta taxa.**

# Biodigestor para Grandes Comunidades

## ➤ Sistemas Anaeróbios

- Microrganismos **suspensos** agregados na forma de floco ou granulos.



Reator anaeróbio de  
manta de lodo(UASB)

Reator anaeróbio de  
manta de lodo (UASB)

# Biodigestor para Grandes Comunidades

## ➤ Reator UASB

- **Tanque com parâmetros de projetos bem definidos** (velocidade ascensional, carga orgânica distribuidores).
- **Separador trifásico gás-líquido-sólido**: decantador com defletor de gases na sua parte superior.
- **Condições hidráulicas** impostas levam à formação de **lodo com boas características** de sedimentação e alta atividade metanogênica.
  - **Favorece retenção da biomassa no seu interior.**

# Biodigestor para Grandes Comunidades

## ➤ Reator UASB

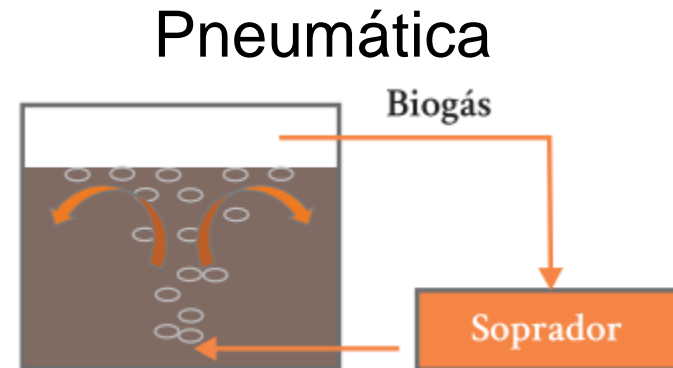
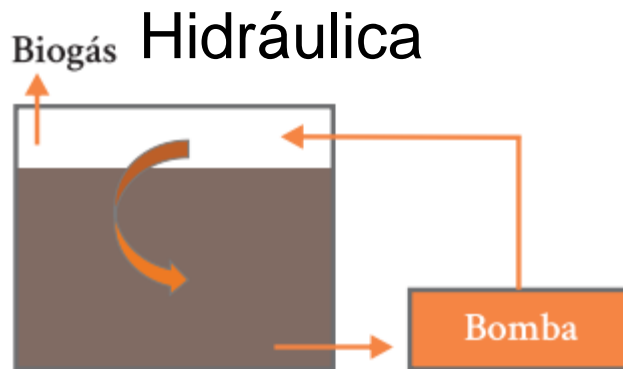
- Vantagens:
  - **Não requer materiais sofisticados;**
  - **Não requer material de enchimento/suporte.**
- **Dimensionamento cuidadoso**
  - Parâmetro de projeto afetam o movimento sólido/líquido/gasoso dentro do reator.
  - Baixa concentração de sólidos (2%)



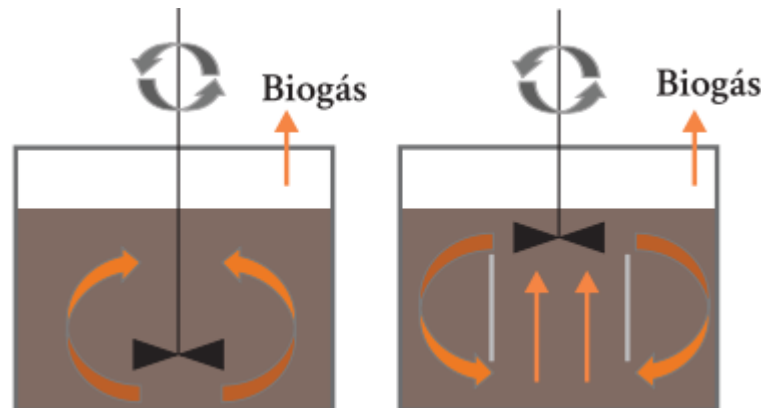
# Biodigestor para Grandes Comunidades

## ➤ Biodigestor em CSTR

- Sistema de agitação (homogeneização)



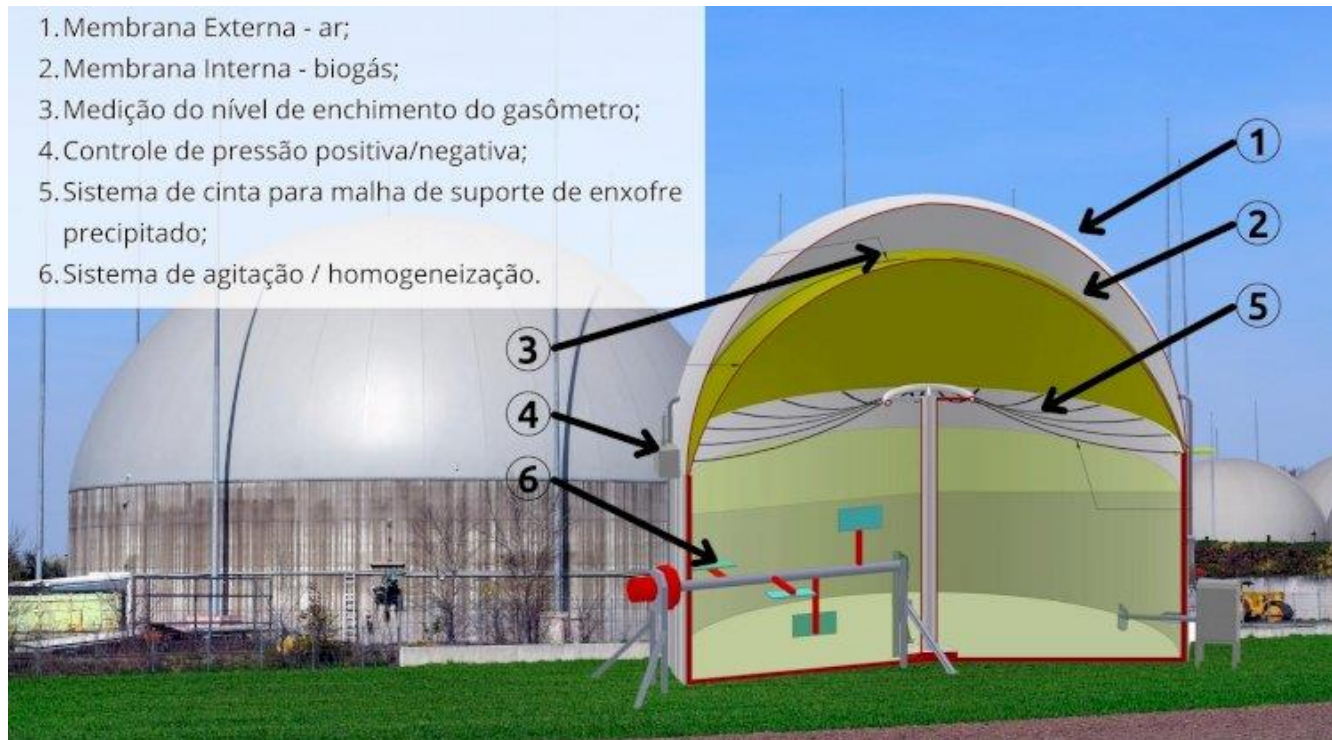
Mecânica



# Biodigestor para Grandes Comunidades

## ➤ Biodigestor em CSTR

- Concentração de sólido mais elevada (10%)
- 90% das plantas de biogás da Europa



# Biodigestor para Grandes Comunidades

## ➤ Biodigestor em CSTR

### ○ Vantagens:

- Baixo custo > 300 m<sup>3</sup>
- Flexível operação de fluxo contínuo ou armazenamento
- Não requer materiais sofisticados;
- Não requer material de enchimento/suporte

### ○ Desvantagens

- Membrana de teto é cara para grandes reatores
- Correntes de circuito curto (curto-circuito)
- Camadas flutuantes ou de sedimentação podem ocorrer

# Biodigestor para Grandes Comunidades

## ➤ Biodigestores em fase sólida

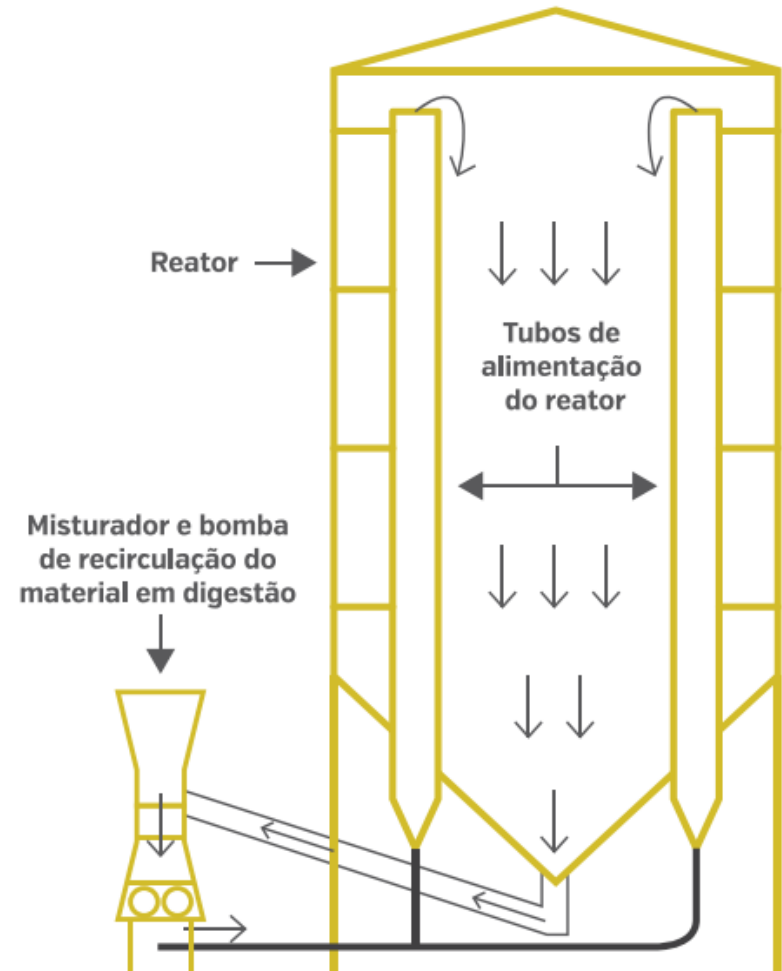
- Mais estáveis
- Mais robustos
- Menor consumo energético
- Menor geração de efluente líquido
- Menor demanda de água em comparação com os processos úmidos.

# Biodigestor para Grandes Comunidades

## ➤ Biodigestores em fase sólida

### ○ Processo Dranco (Bélgica)

- Digestão anaeróbia termofílico via seca
- Único estágio, fluxo contínuo, vertical, de formato cilíndrico e fundo cônico
- ST entre 15% e 40%



# Biodigestor para Grandes Comunidades

## ➤ Biodigestores em fase sólida - Processo Dranco

### ○ Vantagens

- Agitação via recirculação por bombas hidráulicas
- Inexistência de elementos internos ao reator, reduzindo problemas e demanda de manutenção

### ○ Desvantagens

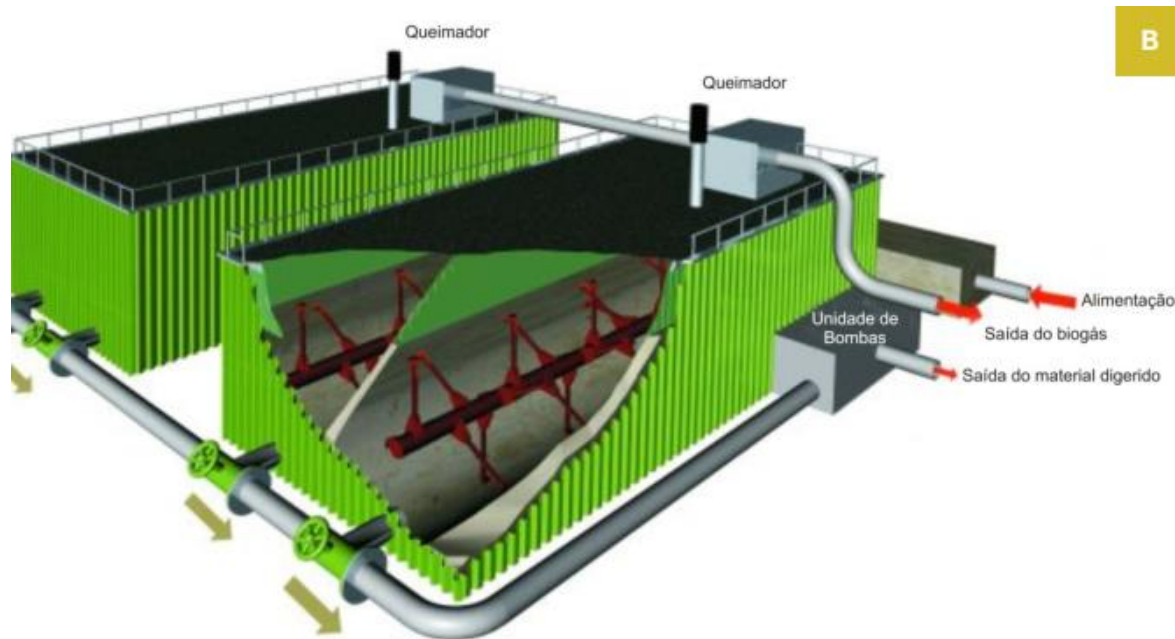
- Necessidade de correção do teor de matéria seca com adição de insumos
- Constante recirculação do material em digestão
- Bombas do tipo pistão de entrada limpeza manual diária
- Níveis altos de impurezas no RSU exigem pré-tratamento

# Biodigestor para Grandes Comunidades

## ➤ Biodigestores em fase sólida

### ○ Processo Kompogas

- Digestão anaeróbia termofílico via seca
- fluxo pistão com alimentação semicontínua, horizontal de formato retangular e fundo cilíndrico



# Biodigestor para Grandes Comunidades

## ➤ Biodigestores em fase sólida - Processo Kompogas

### ○ Vantagens

- Agitação eficiente apesar de elementos internos

### ○ Desvantagens

- Sistema de agitação mecânico e interno ao reator
- Possibilidades de falhas no sistema de extração, sendo necessário um procedimento manual de desobstrução da tubulação
- Níveis altos de impurezas no RSU exigem pré-tratamento



# Biodigestor para Grandes Comunidades

## ➤ Biodigestores em fase sólida

### ○ Processo Valorga

- Digestão anaeróbia mesofílico via seca
- Único estágio, fluxo semicontínuo, vertical, de formato cilíndrico



# Biodigestor para Grandes Comunidades

## ➤ Biodigestores em fase sólida - Processo Valorga

### ○ Vantagens

- Instalação de plantas com elevada capacidade
- Agitação pneumática
- Simplicidade construtiva

### ○ Desvantagens

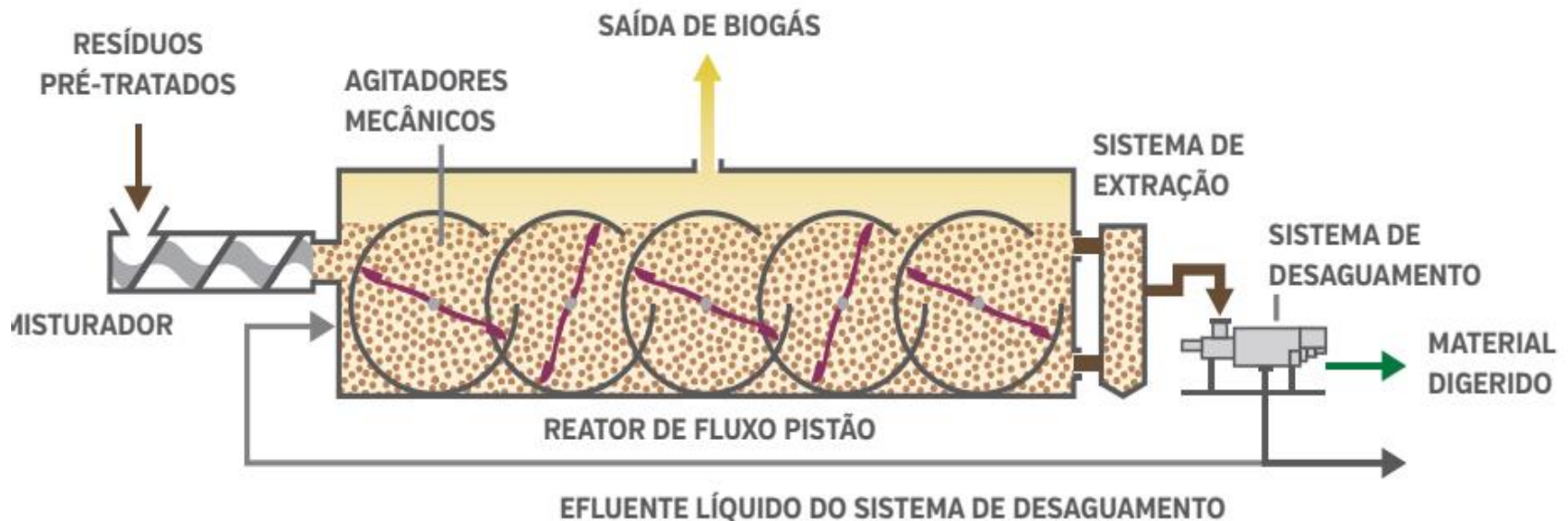
- Sistema de agitação via injeção de biogás comprimido na parte inferior, demandando limpeza manual
- Constante recirculação do material em digestão
- Alimentação por bombas do tipo pistão, que necessitam limpeza manual diária
- Níveis altos de impurezas no RSU exigem pré-tratamento

# Biodigestor para Grandes Comunidades

## ➤ Biodigestores em fase sólida

### ○ Processo Laran (Linde BRV)

- Digestão anaeróbia termofílico ou mesofílico via seca
- Único estágio, fluxo semicontínuo, horizontal, de formato cilíndrico



# Biodigestor para Grandes Comunidades

## ➤ Biodigestores em fase sólida - Processo Laran (Linde/BRV)

### ○ Vantagens

- Sistema de extração eficiente

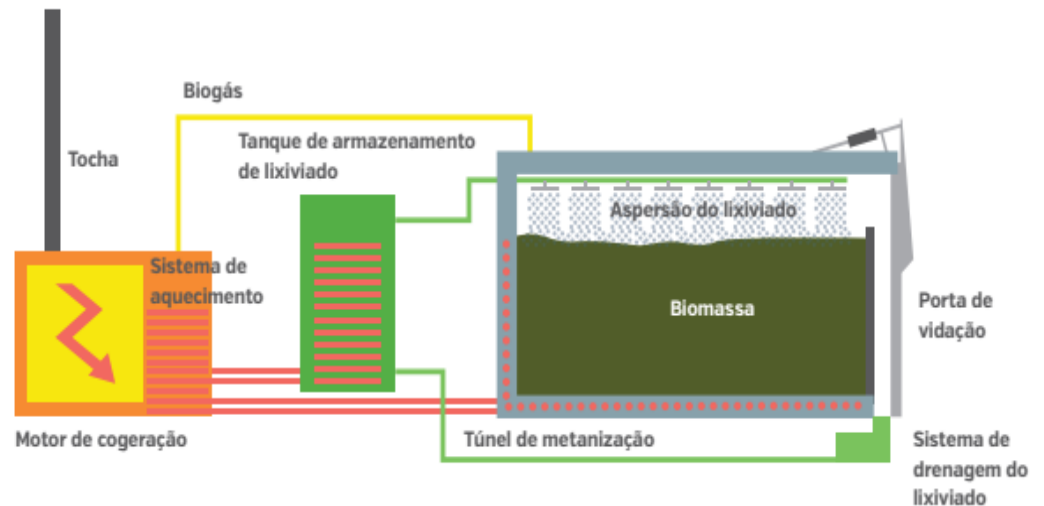
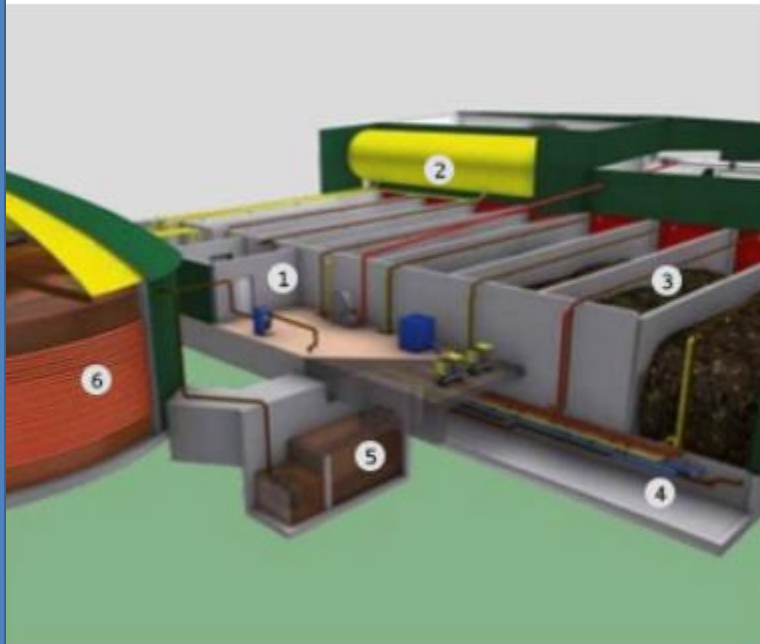
### ○ Desvantagens

- Sistema de agitação mecânico e interno ao reator
- Sistema de extração por bomba de vácuo, necessitando tanques e equipamentos adicionais
- Níveis altos de impurezas no RSU exigem pré-tratamento

# Biodigestor para Grandes Comunidades

## ➤ Biodigestores em fase sólida

- Processo tubos de metanização (Kompoferm e Bekon Dry Cycle)
  - Batelada sequencial
  - Digestão anaeróbica mesofílico via extrasseca



# Biodigestor para Grandes Comunidades

## ➤ Biodigestores em fase sólida - tubos de metanização (Kompoferm e Bekon Dry Cycle)

### ○ Vantagens

- Robustez (suporta maiores teores de impróprios)
- Introdução de ar no reator ao final do processo (secagem prévia)
- Porta inteiriça facilitando a vedação
- Utilização de grade lateral e canaletas ao longo dos túneis para auxiliar na drenagem do lixiviado

### ○ Desvantagens

- Colmatação das grades laterais prejudicando o fluxo do lixiviado
- Emissões fugitivas de metano

# Referências Bibliográficas

- DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI, M.; TAVARES, R.; SANTOS, C. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e Batelada. Bauru-SP, 2008.
- ALVES, S. M.; MELO, C.F.M.; WISNIEWISKI, A. Biogás: uma alternativa de energia no meio rural. Belém.
- EMBRAPA/CPATU. (Miscelânea, 4), 1980. [2] BENINCASA, M.; ORTOLANI, A.F.; LUCAS JUNIOR, J. Biodigestores convencionais. Jaboticabal, FUNEP, 1991. 25p.
- LAGRANGE, B. Biomethane: principestechniques, utilisations. La Calade, EDISUD/energias alternativas, 1979. 249p.
- LUCAS JÚNIOR, J. Estudo comparativo de biodigestores modelos Indiano e Chinês. Botucatu, 1987, 114p. (Tese de Doutorado), Universidade Estadual Paulista.
- ORTOLANI, A.F.; BENINCASA, M.; LUCAS JUNIOR, J. Biodigestores rurais: modelos Indiano, Chinês e Batelada. Jaboticabal, FUNEP, 1991. 3p.
- KOTHARI, R., PANDEY, A. K., KUMAR, S., TYAGI, V. V., & TYAGI, S. K. (2014). Different aspects of dry anaerobic digestion for bio-energy: An overview. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 39, 174–195.



# Universidade Federal de São Paulo

Campus Baixada Santista

Departamento de Ciências do Mar

## Dúvidas?

## Obrigado!!

[eduardo.penteado@unifesp.br](mailto:eduardo.penteado@unifesp.br)