

**Biodigestão de resíduos**

**Fernanda Peixoto Manéo**

*Palestra apresentada na UNIP, Santos. 37 slides*

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública. **PROIBIDO REPRODUÇÃO**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo  
S/A - IPT  
Av. Prof. Almeida Prado, 532 | Cidade Universitária ou  
Caixa Postal 0141 | CEP 01064-970  
São Paulo | SP | Brasil | CEP 05508-901  
Tel 11 3767 4374/4000 | Fax 11 3767-4099

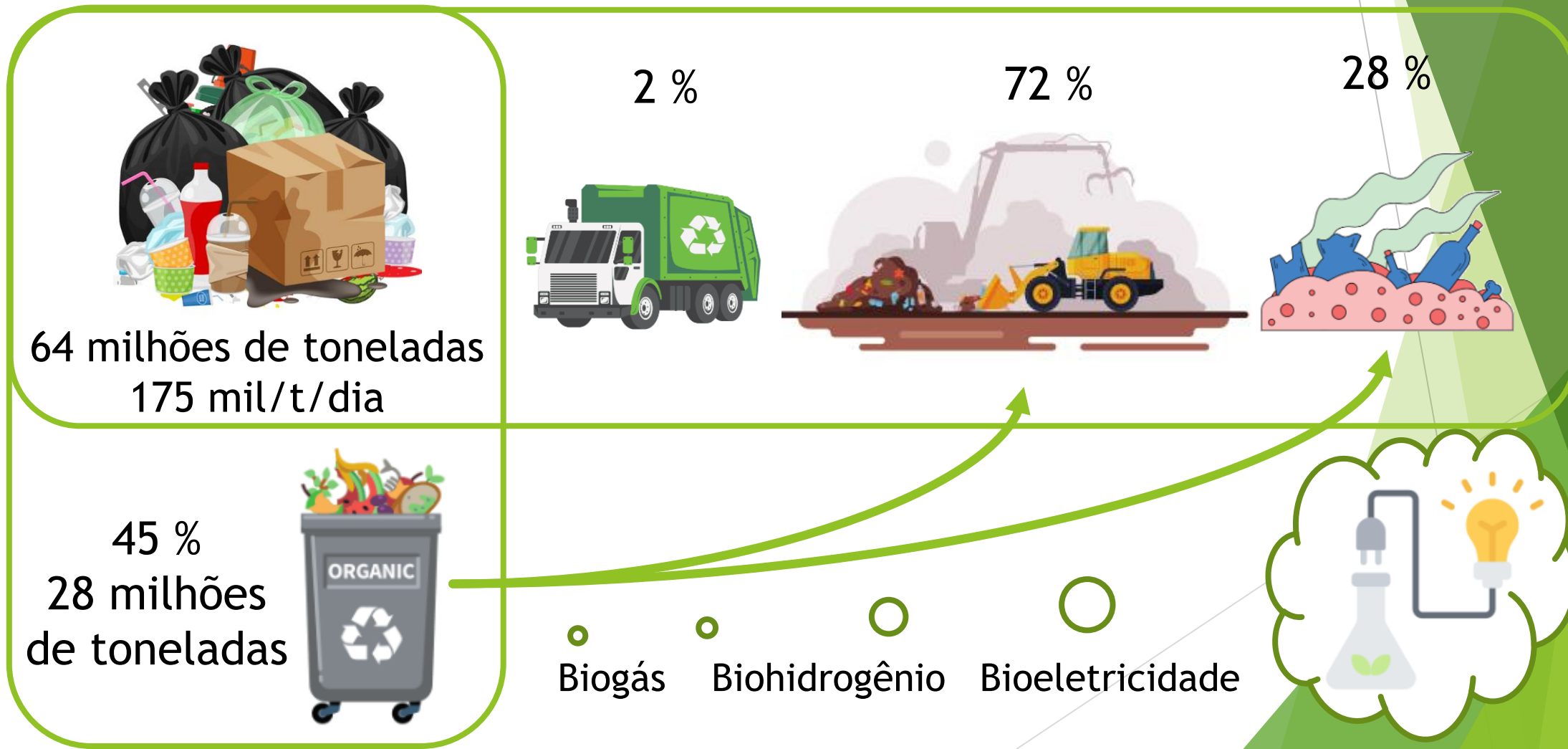
[www.ipt.br](http://www.ipt.br)

# BIODIGESTÃO DE RESÍDUOS

Fernanda Peixoto Manéo

# INTRODUÇÃO

## Geração de resíduos no Brasil, em 2022



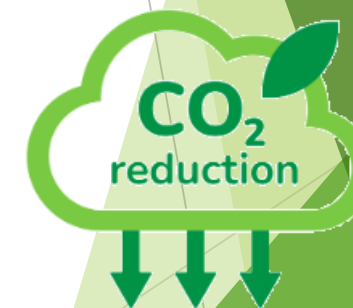
# INTRODUÇÃO

## Políticas Públicas



- ▶ Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305 de 2010; regulamentada pelo Decreto nº 10.936, de 2022 )
  - ▶ Erradicação dos lixões;
  - ▶ Favorecimento da redução, reutilização e reciclagem de resíduos;
  - ▶ Disposição apenas de rejeitos em aterros.

- ▶ Política Nacional de Transição Energética, (Lei 14.134 de 2021; regulamentada pelo Decreto 12.153/2024)
  - ▶ **Mitigar as emissões de gases do efeito estufa (zerar até 2050)**
  - ▶ levantar R\$ 2 trilhões em investimentos em 10 anos, para investimentos em novos projetos renováveis de eletricidade, combustíveis de baixo carbono e exploração de minerais estratégicos como o lítio.



- ▶ Novas tecnologias
- ▶ Engenheiros qualificados
- ▶ Profissionais qualificados



*“...são 3 milhões de empregos para brasileiras e brasileiros. É energia eólica, solar, hídrica, biomassa, biodiesel, etanol, diesel verde, captura e estocagem de carbono, combustível sustentável de aviação, hidrogênio verde. É o renascimento da indústria do Brasil em bases sustentáveis.” Silveira, 2024*

# INTRODUÇÃO

## Alemanha



48 milhões de toneladas  
133 mil/t/dia

45 %



17 %



38 %



0 %



- ▶ Ano de 1972: Primeira Lei sobre resíduos (38 anos antes que no Brasil)
- ▶ Proibição do encaminhamento de resíduos para aterros;
- ▶ Multa caso o descarte não seja feito segregado.

# INTRODUÇÃO

## Alemanha

- ▶ Tecnologias avançadas de tratamento de resíduos



# INTRODUÇÃO

## Equipamentos importados da Alemanha

- Composição dos resíduos da Alemanha diferente da composição dos resíduos do Brasil



# INTRODUÇÃO

## Brasil encontrando seu caminho

- ▶ Empresas Brasileiras desenvolvendo tecnologias com base nas existentes
- ▶ Profissionais brasileiros se especializando
- ▶ Aterros com reaproveitamento de parte do biogás - o excedente continua sendo queimado no flare;
- ▶ Sistemas de separação semi-mecanizada com reaproveitamento dos recicláveis e, em alguns casos, de orgânicos em biodigestores.
- ▶ Necessidade de ampliação de biodigestores para tratamento centralizado de orgânicos, deixando os aterros para tratamento descentralizado, e apenas de rejeito.
- ▶ Biodigestores geram, além do biogás, composto orgânicos que pode ser reaproveitado como biofertilizante.





# Biodigestores

- ▶ Processo inventado em 1806 na Inglaterra
- ▶ No Brasil iniciou em 1996 e hoje existem 936 unidades de tratamento de efluentes, resíduos agropecuários, de resíduos industriais e de resíduos domiciliares;
- ▶ Equipamento fechado, sem a presença de ar, que decompõe a matéria orgânica com a ação de microorganismos anaeróbios.
- ▶ Microorganismos metanogênicos geram o metano



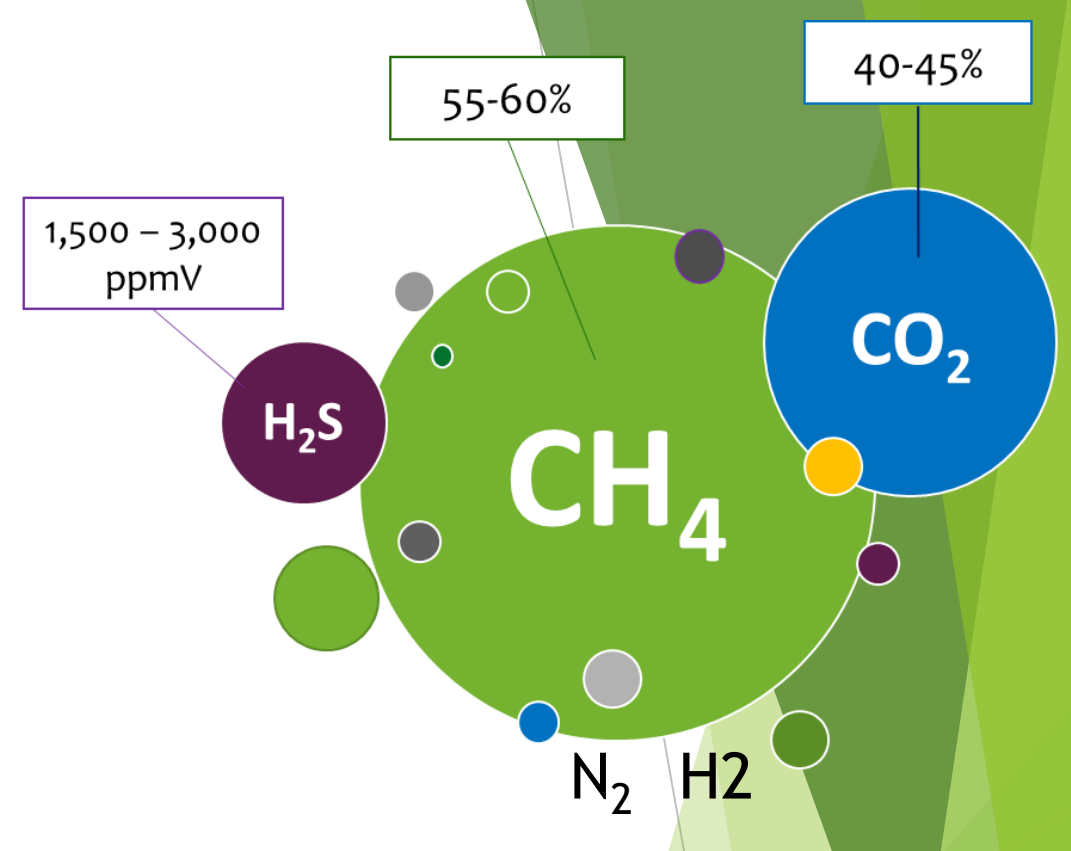
# Biogás



► 1 m<sup>3</sup> de biogás gera 1,25 a 2,50 kwh



**UNIP**

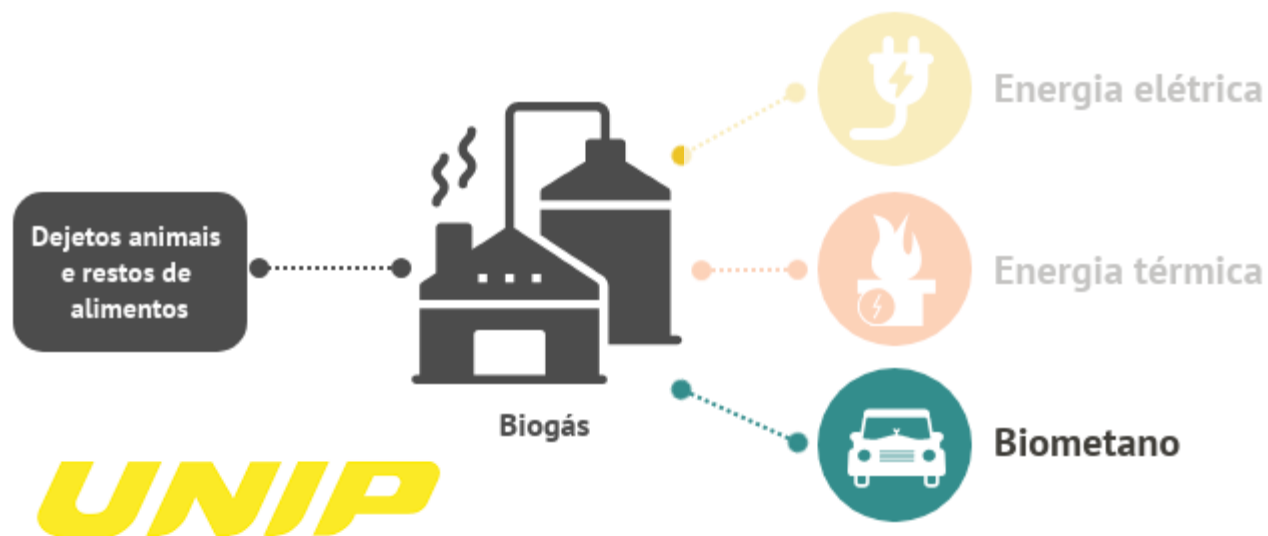


Material	Geração de biogás (m <sup>3</sup> /kg)
Esterco animal	0,02 a 0,05
Resíduos alimentares	0,20 a 1,00
Culturas energéticas	0,03 a 0,05
Lodos de esgoto	0,25 a 0,30
Resíduos agroindustriais	0,02 a 0,05

# Biometano



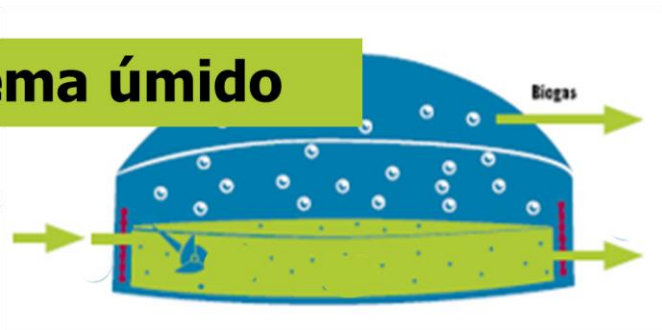
- ▶ Obtido à partir da purificação do biogás, com a retirada do gás carbônico, vapor d'água e sulfeto de hidrogênio, sobrando cerca de 96,5 % de metano;
- ▶ Tem maior poder de combustão que o biogás;
- ▶ Utilizado como Gás Natural Veicular - GNV.



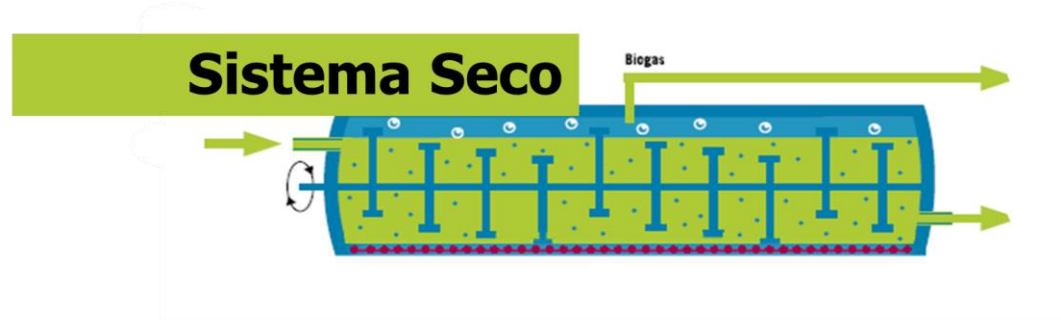


# Sistemas existentes

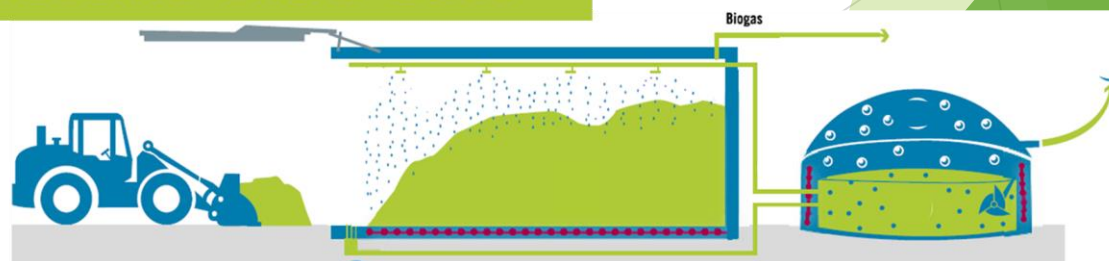
**Sistema úmido**



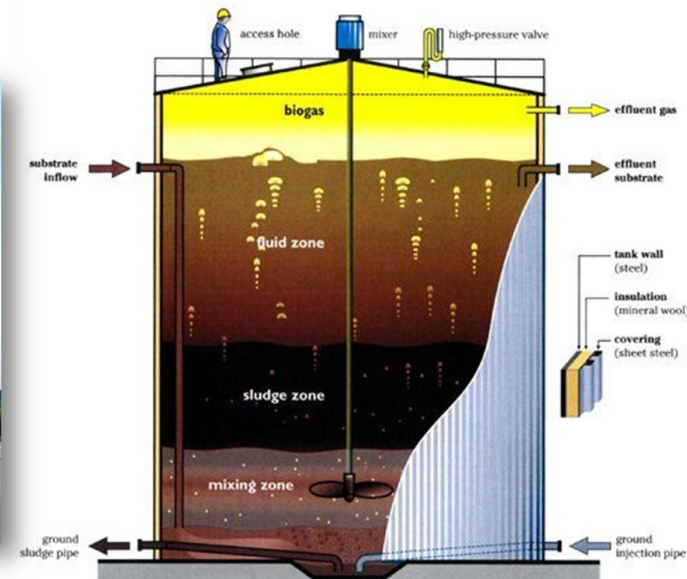
**Sistema Seco**



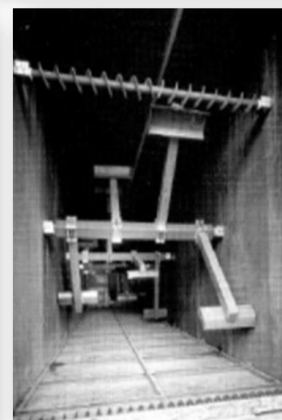
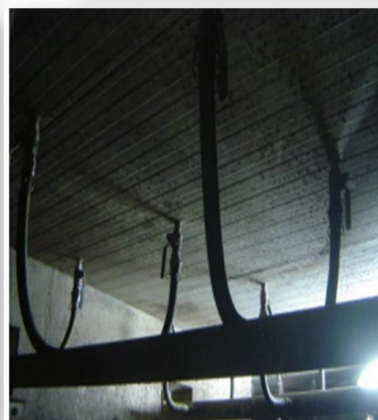
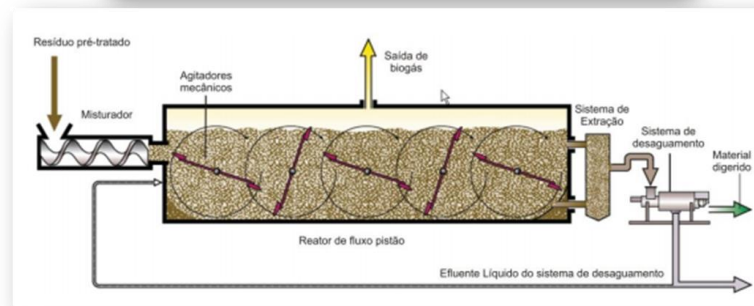
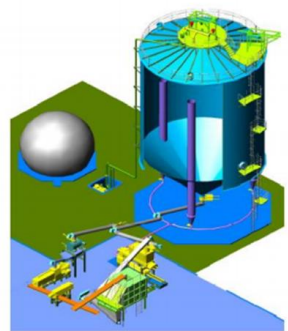
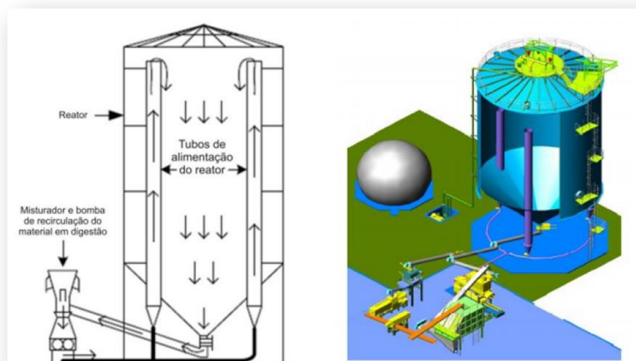
**Sistema Extra-Seco**



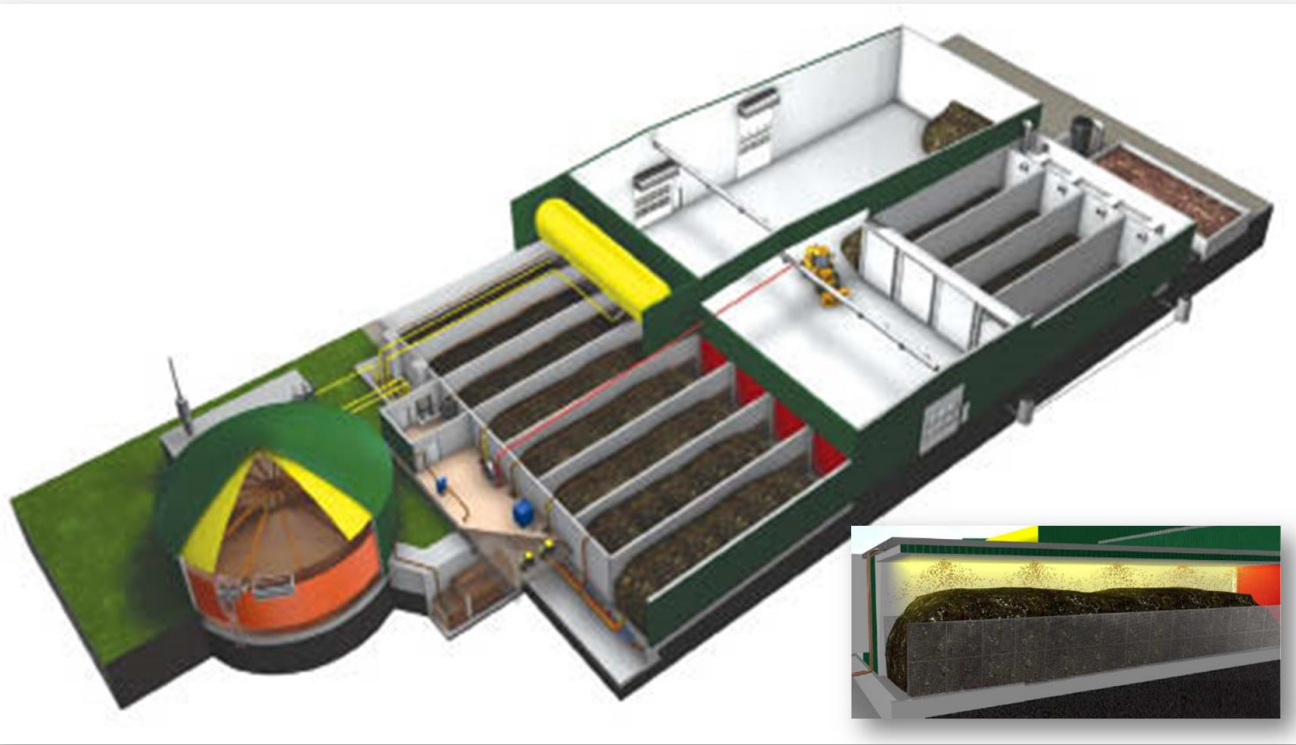
# Sistemas úmidos



# Sistemas secos



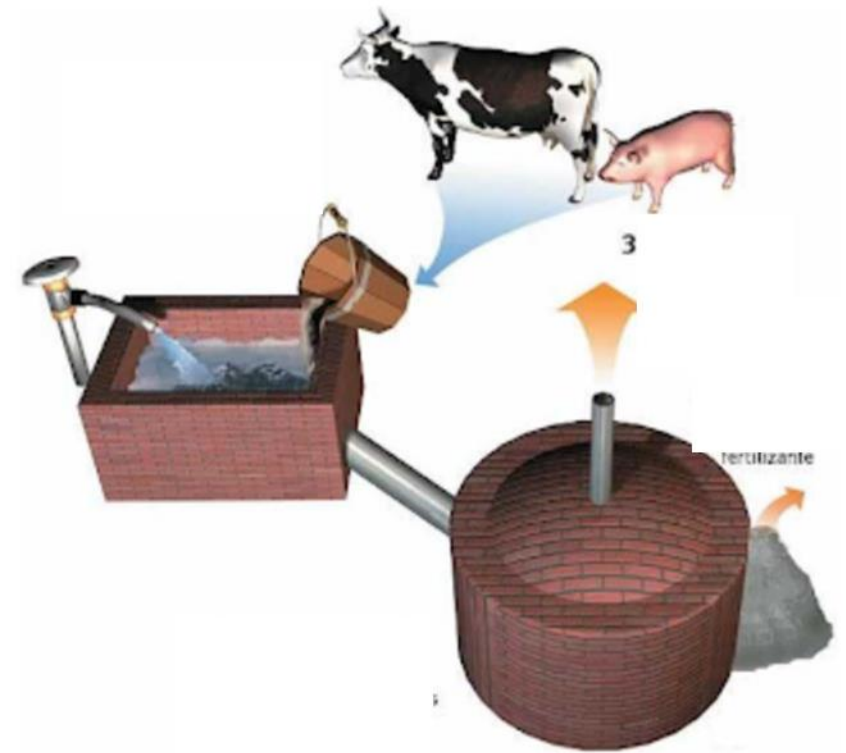
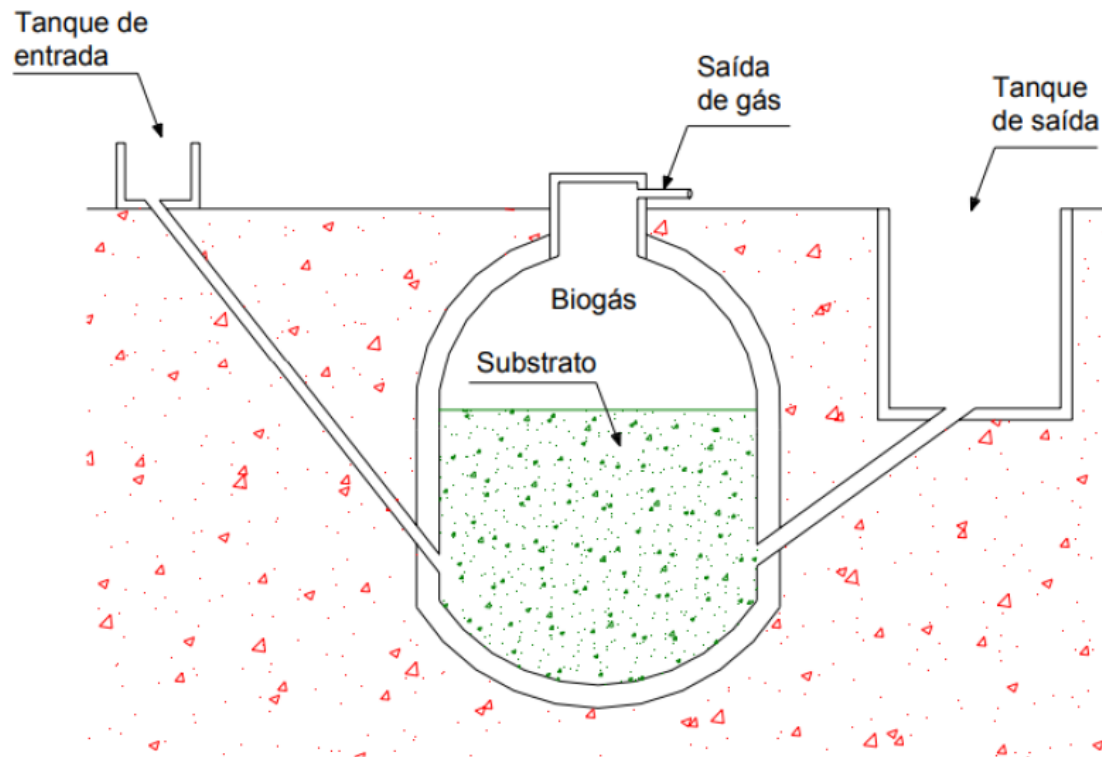
# Sistema extra-secos - de “garagem”





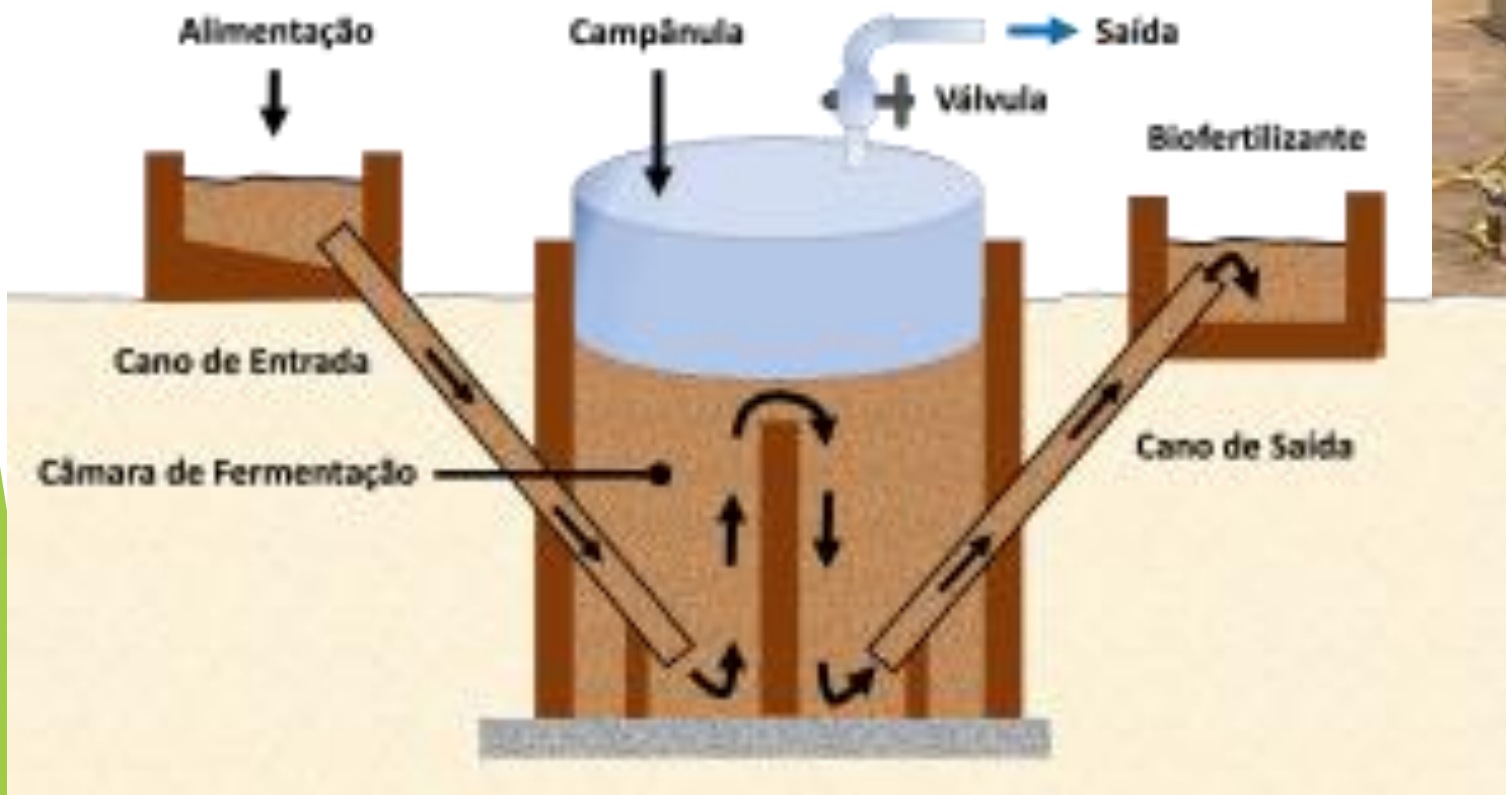
# TIPOS DE BIODIGESTORES Rurais - modelo chinês

- ▶ Dejetos e resíduos agropecuários
- ▶ Sistema úmido e de fluxo contínuo



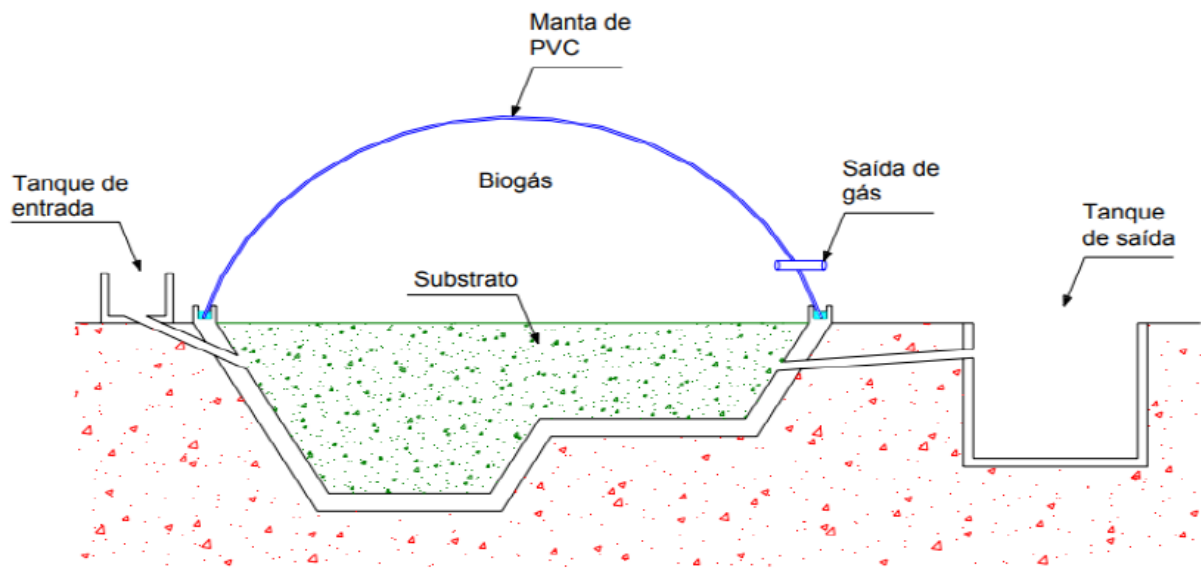
# TIPOS DE BIODIGESTORES Rurais - modelo indiano

- ▶ Dejetos e resíduos agropecuários
- ▶ Sistema úmido e de fluxo contínuo



# TIPOS DE BIODIGESTORES Rurais - modelo canadense

- ▶ Dejetos e resíduos agropecuários
- ▶ Sistema úmido e de fluxo contínuo



# TIPOS DE BIODIGESTORES

## Inflável para pequenas propriedades

- ▶ Resíduos domiciliares
- ▶ Sistema extra seco e de batelada
- ▶ Escolas do Rio de Janeiro, Vargem Grande, Porto Alegre, Minas Gerais (9 municípios), São Paulo (Fase de implantação)



# BIODIGESTORES DO BRASIL

## De tratamento de resíduos orgânicos

- ▶ Sistema seco, de fluxo contínuo;
- ▶ Localizado em São Paulo, no Instituto de Engenharia e Energia da USP.
- ▶ Capacidade de tratamento de 30 t/dia e de geração de biogás de 2.500 m<sup>3</sup>/dia
- ▶ Trata os resíduos dos restaurantes da USP
- ▶ Energia aproveitada na USP.



Usina Experimental de Biogás IEE-USP

Capacidade: 30 toneladas/dia

Usina Experimental de Biogás do Instituto de Engenharia e Ambiente - IEE, São Paulo / SP.

# BIODIGESTORES MUNICIPAIS Jacareí

- ▶ Sistema extra-seco, de batelada
- ▶ Trata resíduos domiciliares orgânicos descartados pela separação mecanizada



# BIODIGESTORES MUNICIPAIS

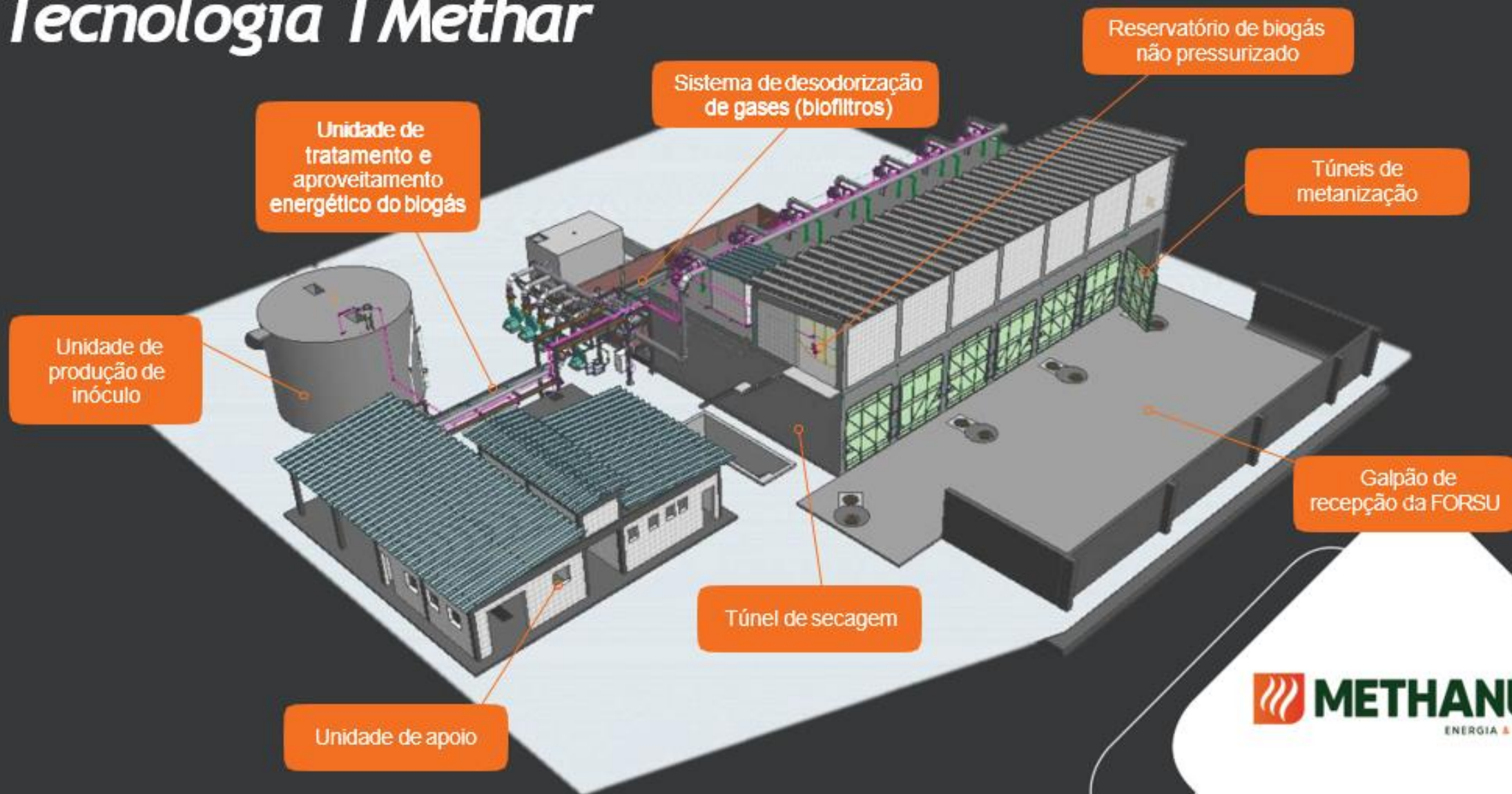
## Rio de Janeiro

- ▶ Sistema extra-seco, de batelada
- ▶ Capacidade de 30 t/dia
- ▶ Estação de Transbordo da Companhia Municipal de Limpeza Urbana (Comlurb) no bairro do Caju



# ENERGIA DO LIXO

## Tecnologia TMethar





# BIODIGESTORES MUNICIPAIS Bertioga

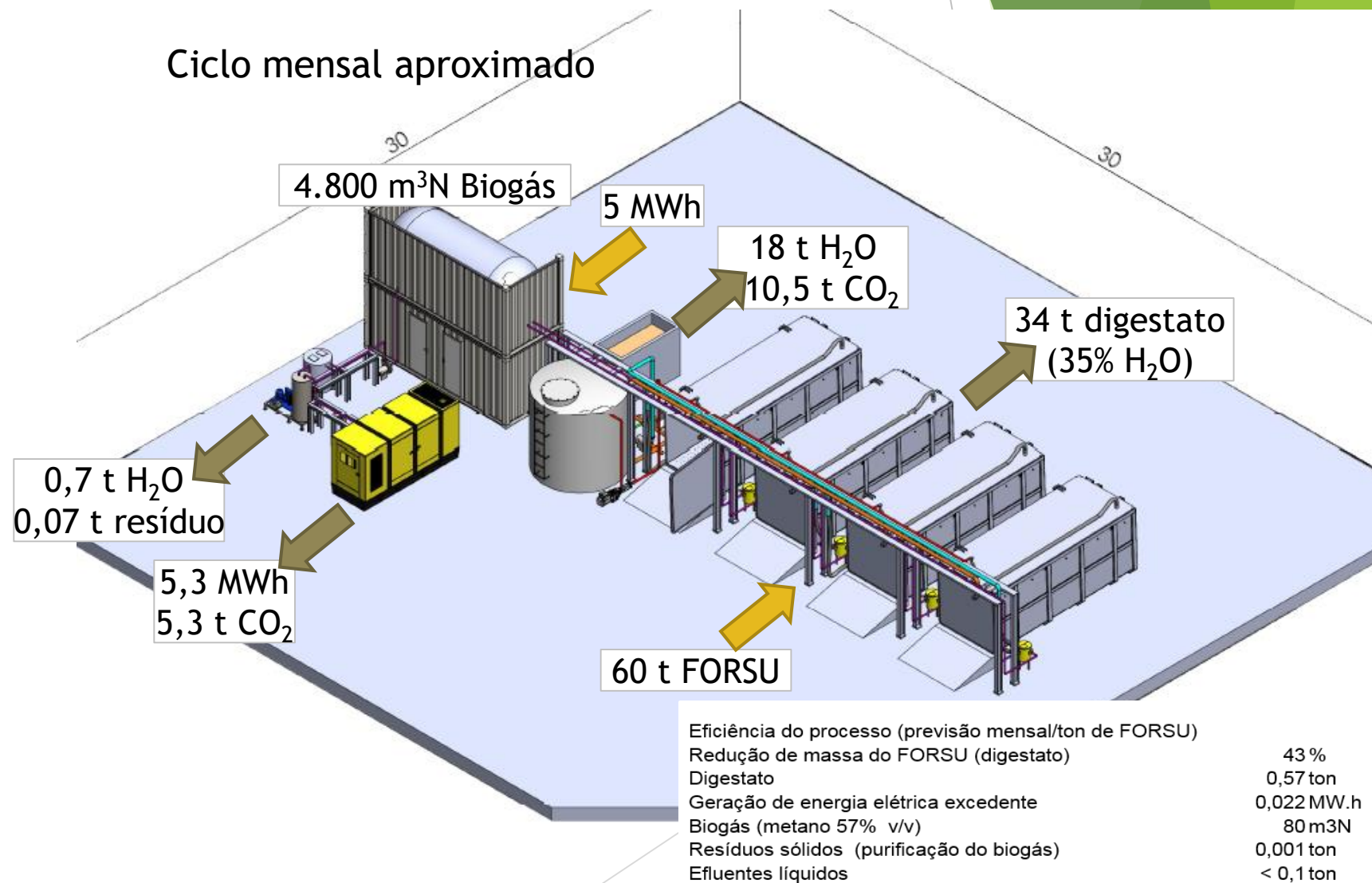
- ▶ Sistema extra-seco, de batelada
- ▶ Capacidade de 2 t/dia
- ▶ Centro de Gerenciamento e Beneficiamento de Resíduos de Bertioga (Transbordo)



# BIODIGESTORES MUNICIPAIS

## Bertioga

- ▶ Capacidade de tratamento de: até 60 t/mês (70 % FORSU + 30 % poda)
- ▶ Geração de biogás: 4800 Nm<sup>3</sup>
- ▶ 5 MWh (CHP)
- ▶ Geração de composto: 30 t/mês



# Ciclos de operação



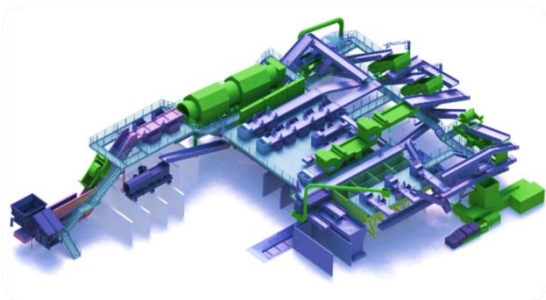
- **Fase - 1 – Interciclo** – Duração estimada: 0 dias  $\pm$  3
- **Fase - 2 – Carga de substrato** – Duração estimada: 3 dias  $\pm$  2
- **Fase - 3 – Fase Aeróbia** – Duração estimada: 1 dia  $\pm$  1
- **Fase - 4 – Ativação metanogênica** – Duração estimada: 3 dias  $\pm$  2
- **Fase - 5 – Fase Metanogênica** – Duração estimada: 21 dias  $\pm$  5
- **Fase - 6 – Decaimento Metanogênico** – Duração estimada: 1 dia  $\pm$  1
- **Fase - 7 – Renovação atmosférica** – Duração estimada: 5 dias  $\pm$  3
- **Fase - 8 – Descarga de Biomassa** – Duração estimada: 1 dia  $\pm$  1





# RSU-Energia

- Seleção de uma área para a proposição e aplicação de diferentes sistemas, aplicados de forma integrada, de gestão, coleta e tratamento de resíduos domiciliares.



- I Segregação na fonte
- II Triagem mecanizada
- III Digestão Anaeróbia
- IV Tratamento térmico

**UNIP**



**Recicláveis, Orgânicos e Rejeito  
± 3 t/dia**



**Orgânicos e Rejeito  
0,5 t/h**



**Orgânicos  
2 t/dia**



**Rejeito  
5 kg/h**



# RSU-Energia

## Módulo 1

Segregação na fonte

Recicláveis  
s  
Orgânicos  
Rejeitos  
± 3 t/dia

UNIP

Capacidade diária:  
1,0 tonelada



Capacidade diária:  
3,6 toneladas



Capacidade diária:  
4,4 toneladas



### Legenda

- Comércios
  - Condomínio
  - Escolas
  - Residências
  - Hospital
- Contêineres
- Orgânicos
  - Recicláveis
  - Rejeitos



# RSU-Energia

## Módulo 2 Triagem mecanizada

Capacidade de  
processamento:  
**0,5 t/h**



# RSU-Energia

## Módulo 3

Digestão anaeróbia

Redução estimada da fração orgânica

**43 %**

**10 t/túnel**



## Módulo 4

Tratamento térmico

Capacidade de processamento

**5 kg/h**



**UNIP**

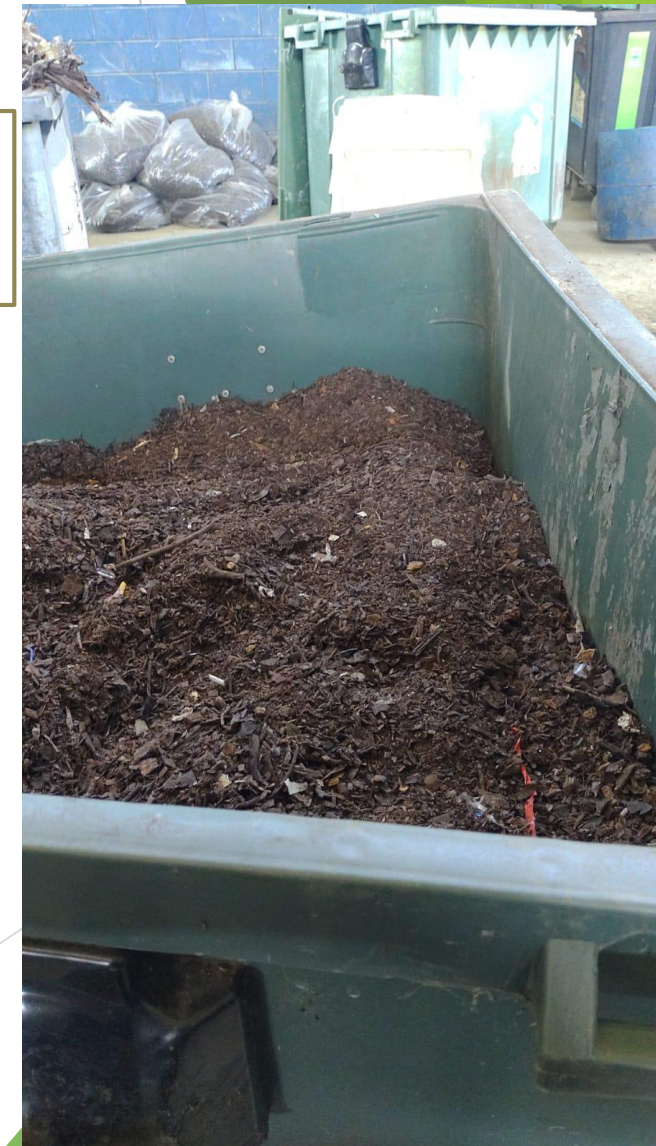


## Material não segregado na fonte

PENEIRAMENTO  
em malha 20 mm

Passante ainda com  
contaminação de  
inertes

Retido na  
peneira



# DESAFIOS

- ▶ Composição dos resíduos e impacto na qualidade do biogás
- ▶ Composição dos resíduos e impactos na qualidade do composto orgânico
- ▶ Entupimento dos aspersores
- ▶ Manutenções diversas
- ▶ Fornecedores especializados
- ▶ Mão de obra especializada
  - ▶ Engenheiros mecânicos, de automação, agrônomo, elétrico e biólogo

Ciclos de operação	Material utilizado	Desafios detectados	Impactos	Consequência	Resolução
1	<b>FORSU:</b> Área amostral <b>Material estruturante:</b> Inertes	Compactação do substrato	impactando a percolação do inóculo	Baixa qualidade do biogás	Adição de resíduo de poda como material estruturante
2	<b>FORSU:</b> Área amostral, <b>Material estruturante:</b> poda triturada no transbordo	Morosidade no abastecimento dos túneis	Material em processo de degradação antes do início das fases de metanização	Baixa qualidade do biogás; Digestato com proliferação de moscas.	Aquisição de poda já triturada fornecida por associação de BRP
3	<b>FORSU:</b> Área amostral, <b>Material estruturante:</b> poda de associação de BRP	Sistema de segregação mecanizada passou a apresentar problemas e a segregação passou a ser manual	Morosidade no processo	Baixa qualidade do biogás; Digestato com proliferação de moscas.	Aquisição de FORSU de grande gerador, já segregado na fonte, na forma de complementação
4	<b>FORSU:</b> Área amostral e de grande gerador <b>Material estruturante:</b> poda de associação de BRP	Com o aumento da quantidade de túneis entrando em ciclo de operação, pequenas partículas de poda passaram a acumular no lixiviado/inóculo e causar entupimento dos aspersores de inóculo.	Interrupções no processo de metanização com a abertura dos túneis para a realização do desentupimento dos aspersores	Baixa qualidade do biogás	Adição de sistema de retenção de partículas por meio de malha de peneira instalada na saída do lixiviado dos túneis
5	<b>FORSU:</b> Área amostral e de grande gerador <b>Material estruturante:</b> poda de associação de BRP	Processo interrompido pela COVID-19 e em fase manutenções preparação para a reativação da operação	Desgaste, ressecamento, deformação de equipamentos e materiais que constituem o biodigestor; inatividade microbiana do inóculo.	Necessidade de manutenções diversas e abastecimento da UPI com efluente de estação de tratamento, já em andamento, para ser utilizado como partida da operação	Avaliação dos erros e acertos, preparação para reiniciar com maior maturidade, prospecção de novos parceiros e novos projetos para continuidade da operação.

# Operação desde maio/2023

108 toneladas



Biodigestato  
41 tons

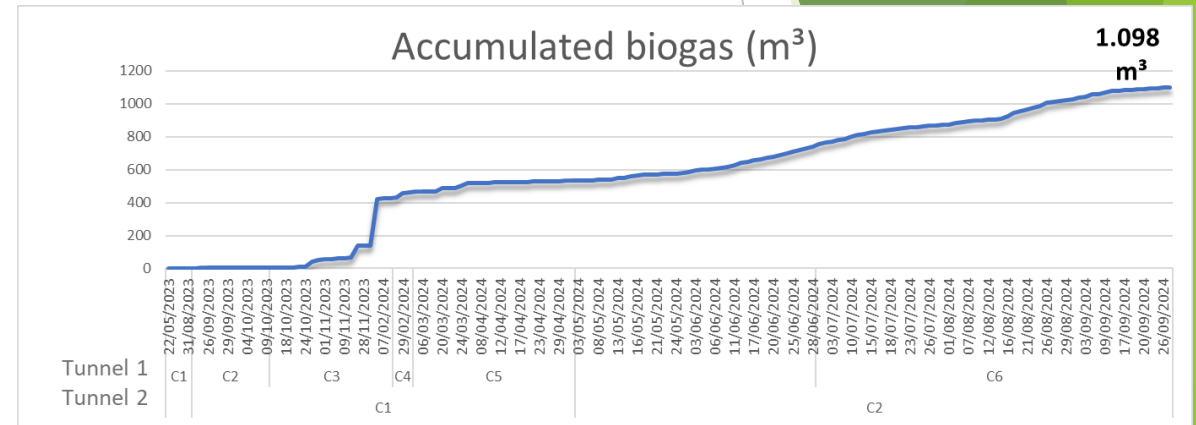


18 m<sup>3</sup> Biogás  
47 % Metano  
25 % Gás carbônico

1.062 m<sup>3</sup> Biogás  
72 % Metano  
22 % Gás carbônico



# Composição do biogás

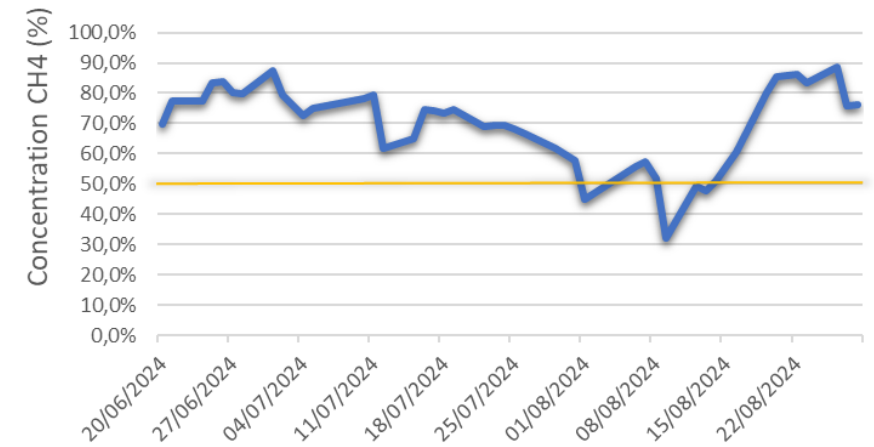


Média de geração de biogás  
2 m<sup>3</sup> / dia / túnel

Média de geração por dia  
4 m<sup>3</sup> / dia



Biogas in the gasometer



# Próximos passos

- ▶ Fortalecimento da coleta seletiva de orgânicos do município (primeiro da região);
- ▶ Biodigestor em ciclo de operação constante;
- ▶ Aumento da capacidade de tratamento (obtenção de novos túneis);
- ▶ Estudos de aplicação do composto orgânico e obtenção de autorização junto à Cetesb;
- ▶ Disponibilização de dados e experiências para estudos de aplicação em outros municípios

Obrigada!

Fernanda Peixoto Manéo  
E-mail: [fpeixoto@ipt.br](mailto:fpeixoto@ipt.br)

**UNIP**