

MICROBIOLOGIA E BIOQUÍMICA APLICADAS

---

# METANOGENÉSE

---

Escola de Engenharia de São Carlos  
Universidade de São Paulo  
Maio de 2020

# ***MEMBROS***

Catarina Alexandre Barbosa

Jennifer Liani

Kairon Icaro Ass de Camargo

Mariana Balieiro Rodrigues

10748782

10876632

10802712

10748931



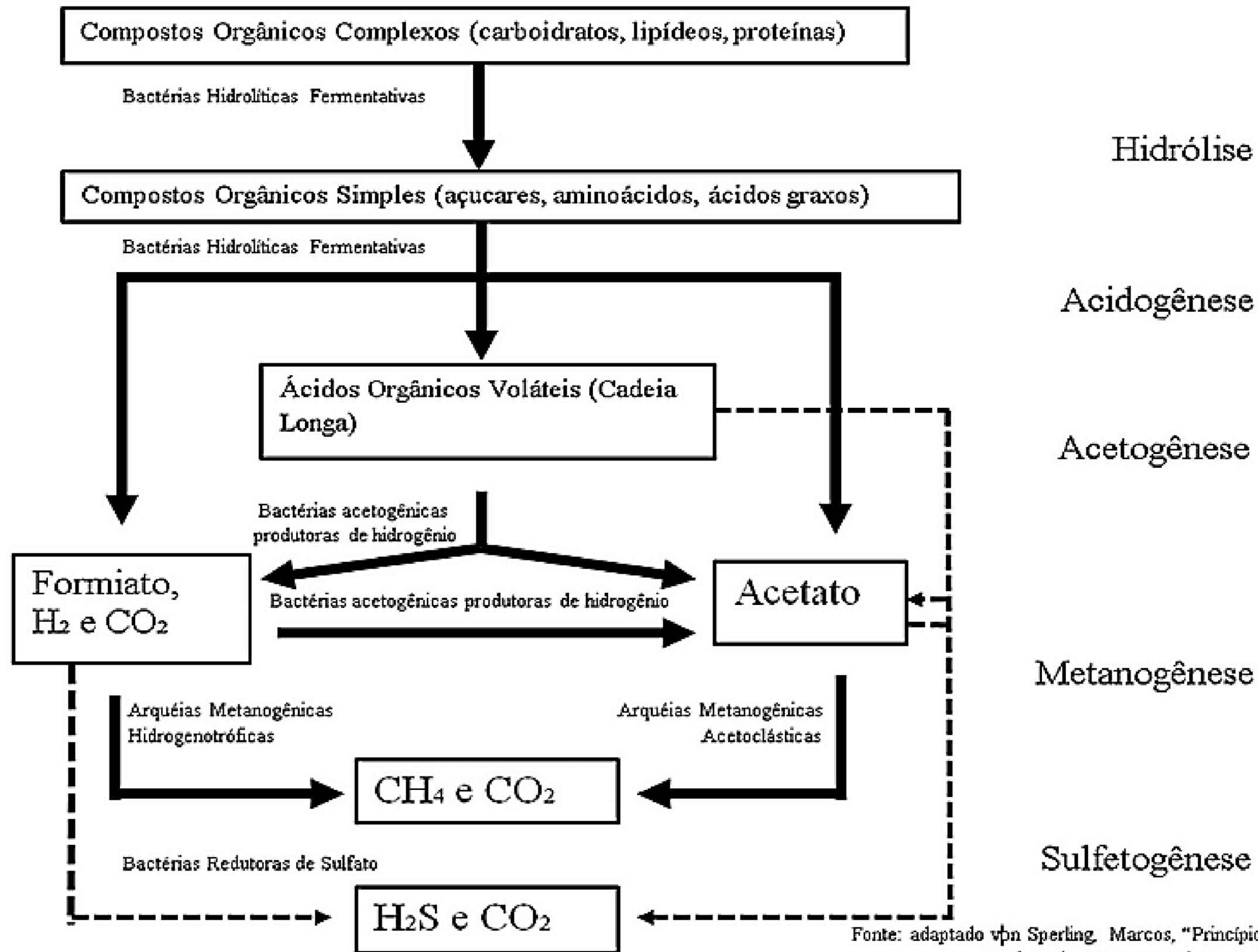
# Metanogênese em ambientes naturais

Tabela 5 – Quantidade de metano emitida a partir de fontes biogênicas.

Fonte	Emissão (TgCH <sub>4</sub> ano <sup>-1</sup> )	Variação da estimativa
Solos alagados	100	92 – 232
Cupins	20	2 - 22
Oceanos	4	0,2 – 2,0
Sedimentos Marinhos	5	0,4 – 12,2
Ruminantes	81	65 - 100
Cultivos de arroz	60	25 - 90

Fonte: Adaptado de Wuebbles e Hayhoe, 2002.

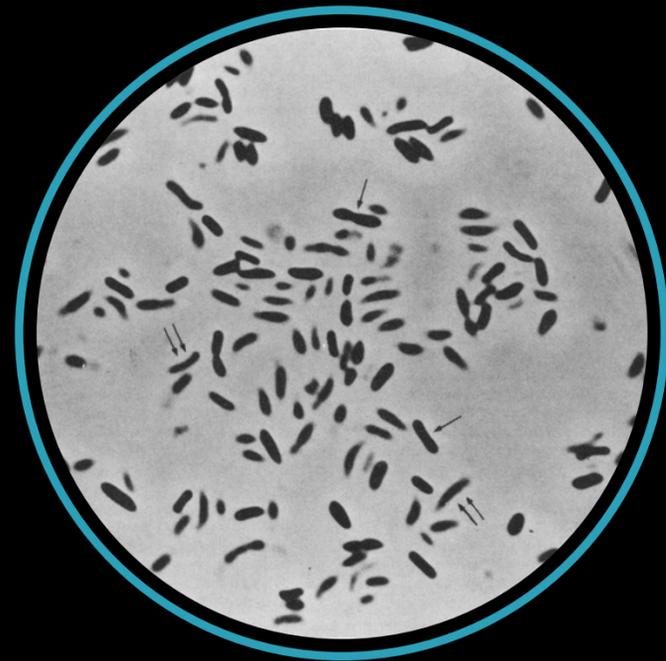
# Sequência metabólica



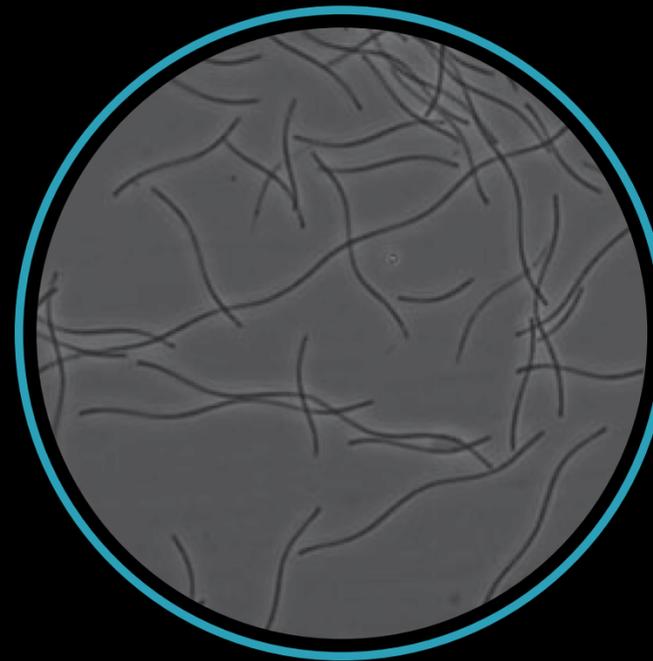
Fonte: adaptado von Sperling, Marcos, "Princípios Básicos de Tratamento de Esgoto"

# Gêneros mais frequentemente isolados

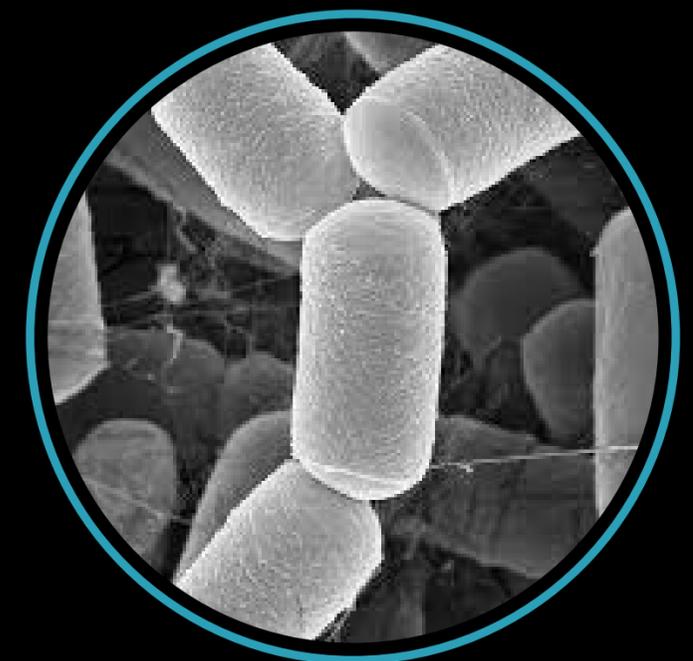
- **Metanogênicas hidrogenotróficas**



**METHANOBACTERIUM**



**METHANOSPIRILLUM**



**METHANOBREVIBACTER**

- **Metanogênicas acetoclásticas**

1. Methanosarcina (formato de cocos);
2. Methanosaeta (formato de filamentos).

# Características física e bioquímicas da digestão

---

- **Temperatura**
  - **Mesofílica (30°C)**
  - **Termofílica (50°C)**



# Características física e bioquímicas da digestão

- pH : próximo a neutralidade.

Dois fatores afetam o pH:

- Alcalinidade;
- Concentração de Biomassa.

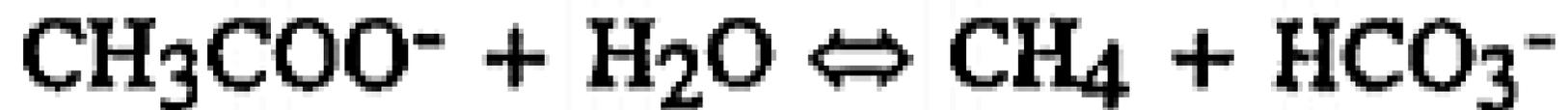


# Alcalinidade

- Responsável por gerar um efeito tampão.

- Fontes:

Proteínas e ácidos orgânicos fracos.



# Concentração de biomassa

Afeta o metabolismo das bactérias.

- Interfere no crescimento, principalmente as acidogênicas.

- Prejudica as principais reações, como a de produção e consumo de prótons e hidrogênio.

# Reações Redox Importantes nos Processos Anaeróbios

Oxidações (Reações doadoras de elétrons)	$\Delta G^\circ$ , KJ
Propionato → Acetato: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^- + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + \text{HCO}_3^- + \text{H}_2$	+76,1
Butirato → Acetato: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$	+48,1
Etanol → Acetato: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$	+9,6
Lactato → Acetato: $\text{CH}_3\text{CHOHCOO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$	-4,2
Acetato → Metano: $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{CH}_4$	-31,0
Reduções (Reações Receptoras de elétrons)	
$\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{Acetato}$ $2\text{HCO}_3^- + 4\text{H}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + 4\text{H}_2\text{O}$	-104,6
$\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{Metano}$ $\text{HCO}_3^- + 4\text{H}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$	-135,6
Sulfato → Sulfeto $\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{HS}^- + 4\text{H}_2\text{O}$	-151,9
$\text{SO}_4^{2-} + \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ \rightarrow 2\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{S}$	-59,9
	-599,6

$\Delta G < 0 \rightarrow$  A reação ocorre no sentido descrito;

$\Delta G > 0 \rightarrow$  A reação não ocorre no sentido descrito, e sim no sentido inverso.

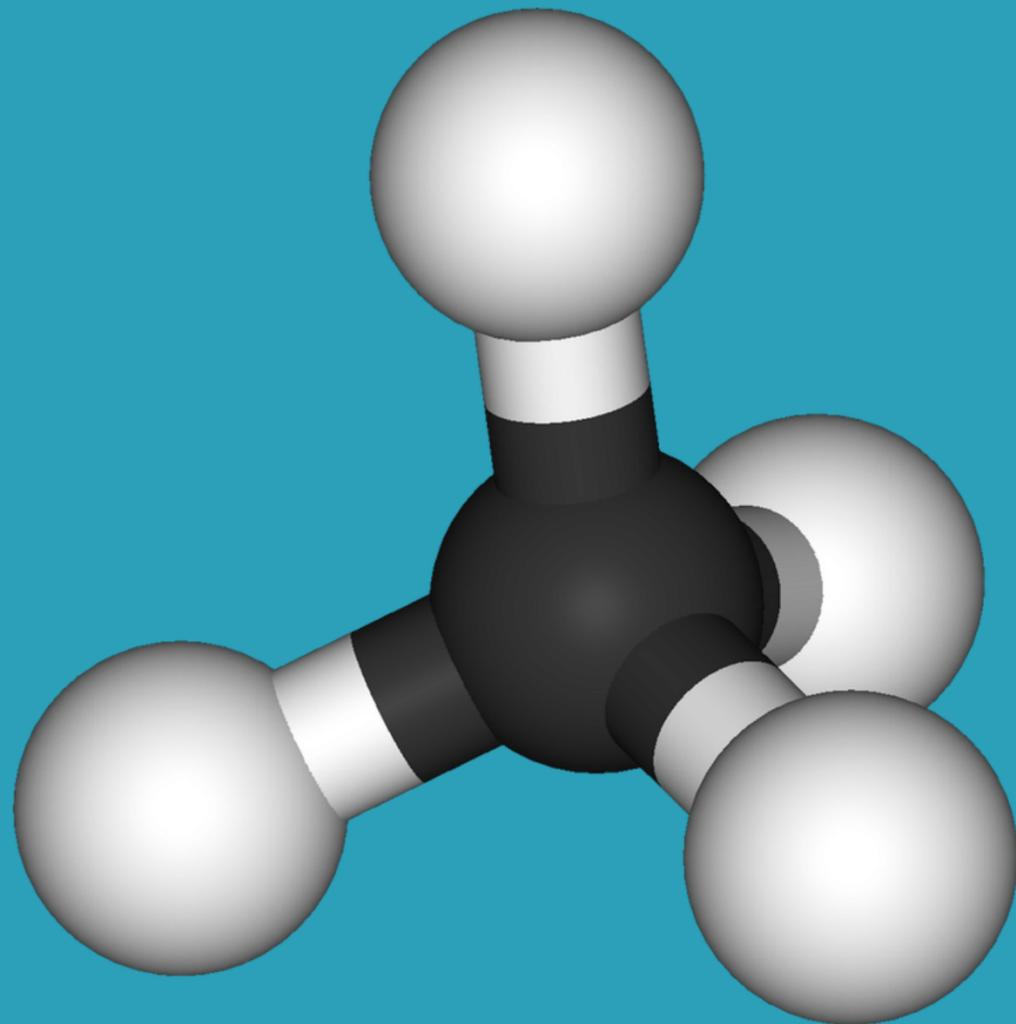
# Vantagens da aplicação anaeróbica

- **Baixo consumo de energia;**
- **Baixa produção de lodo;**
- **Possibilidade de recuperação e utilização do gás metano como combustível.**



# Metano

---

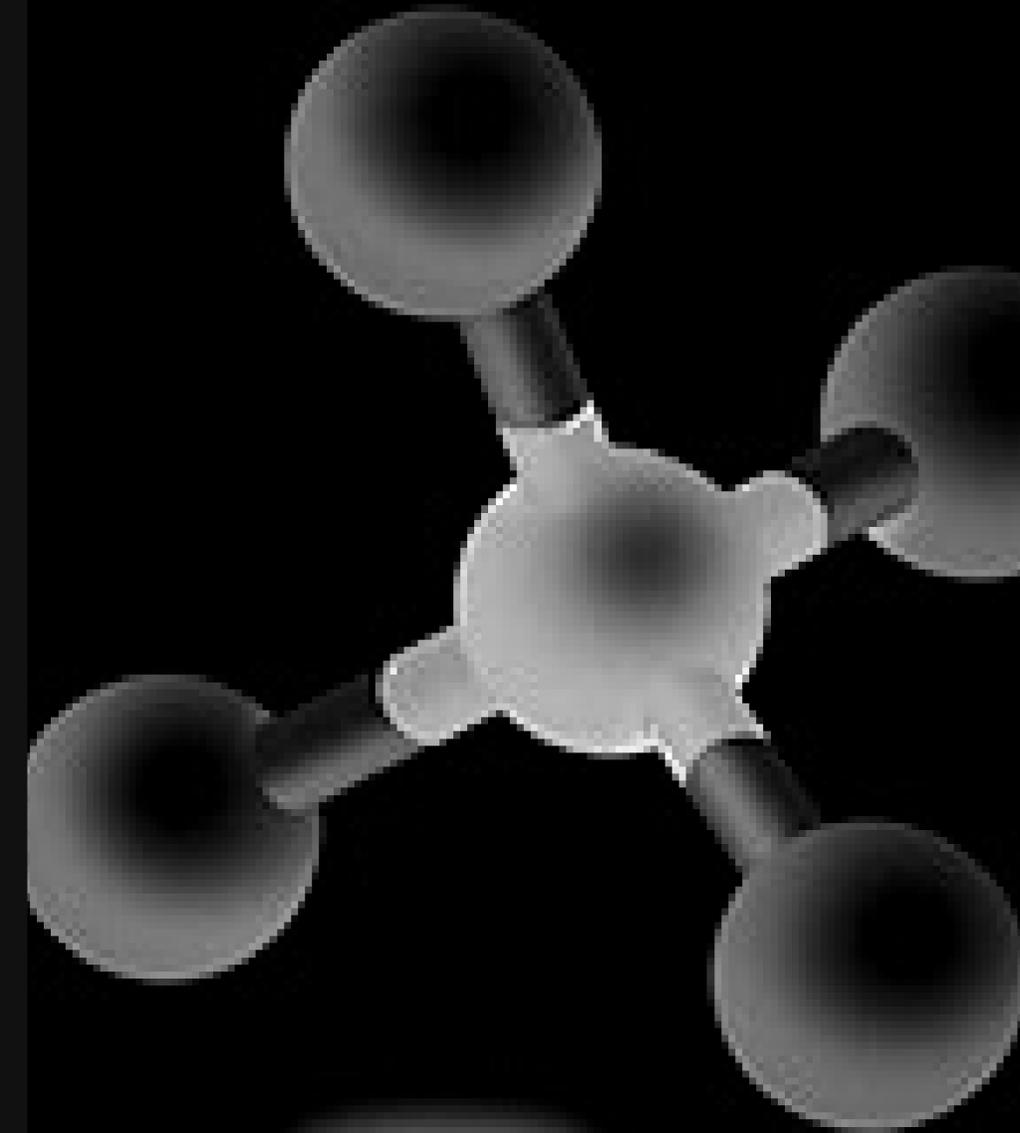


- **Gás inodoro e incolor;**
- **Fórmula química (CH<sub>4</sub>);**
- **Alcano;**
- **Molécula apolar;**
- **Hibridização sp<sup>3</sup>;**
- **Estrutura tetraédrica (109,5°);**

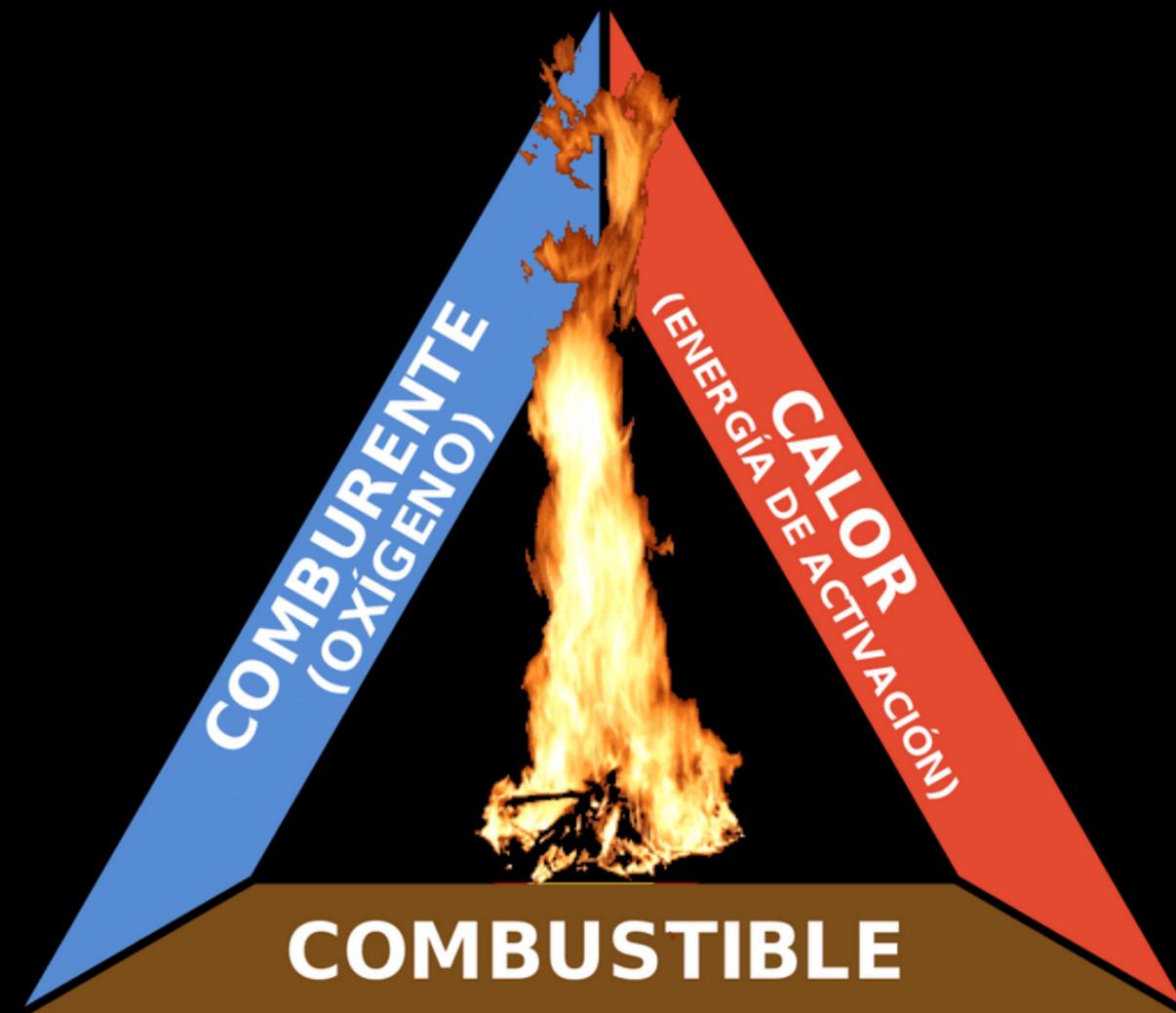
# Propriedades físicas do metano

---

- Ponto de ebulição:  $-162,5^{\circ}\text{C}$
- Ponto de fusão:  $-182^{\circ}\text{C}$
- Molécula hidrofóbica
- Presente em outros gases naturais



# Propriedades químicas do metano



$\Delta H = -891,40 \text{ KJ}$

- Reação exotérmica;
- Gás volátil;
- Alto poder de combustão;
- 2 tipos de combustão;

**Combustão completa do metano:**



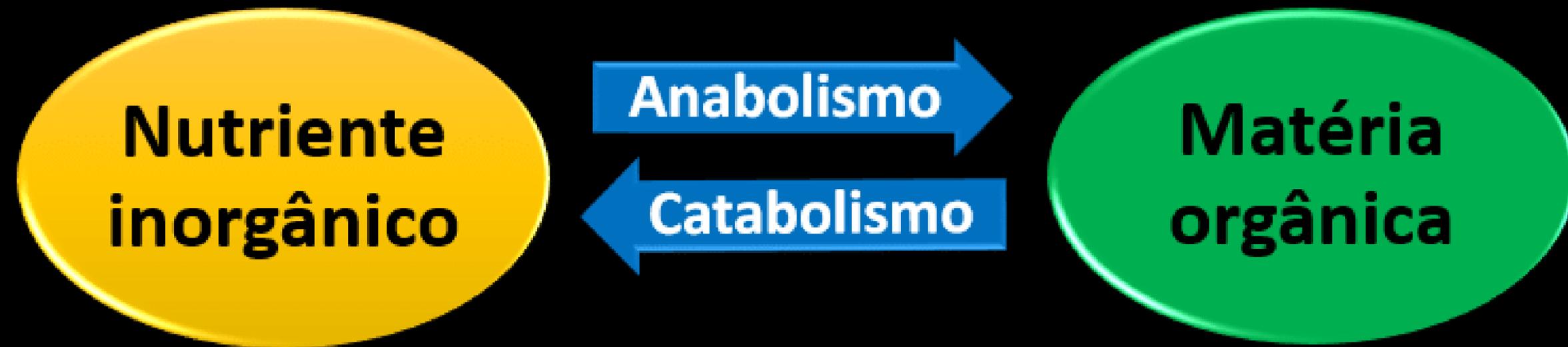
# Combustão incompleta do metano:

- **Oxigênio insuficiente;**
- **Ocorre 2 reações distintas;**
  1. Monóxido de carbono;
  2. Carbono livre



# Degradação da matéria orgânica

---



- **Decomposição;**
- **Substâncias complexas -> Substâncias simples;**

# Consequências ambientais da sua aplicação

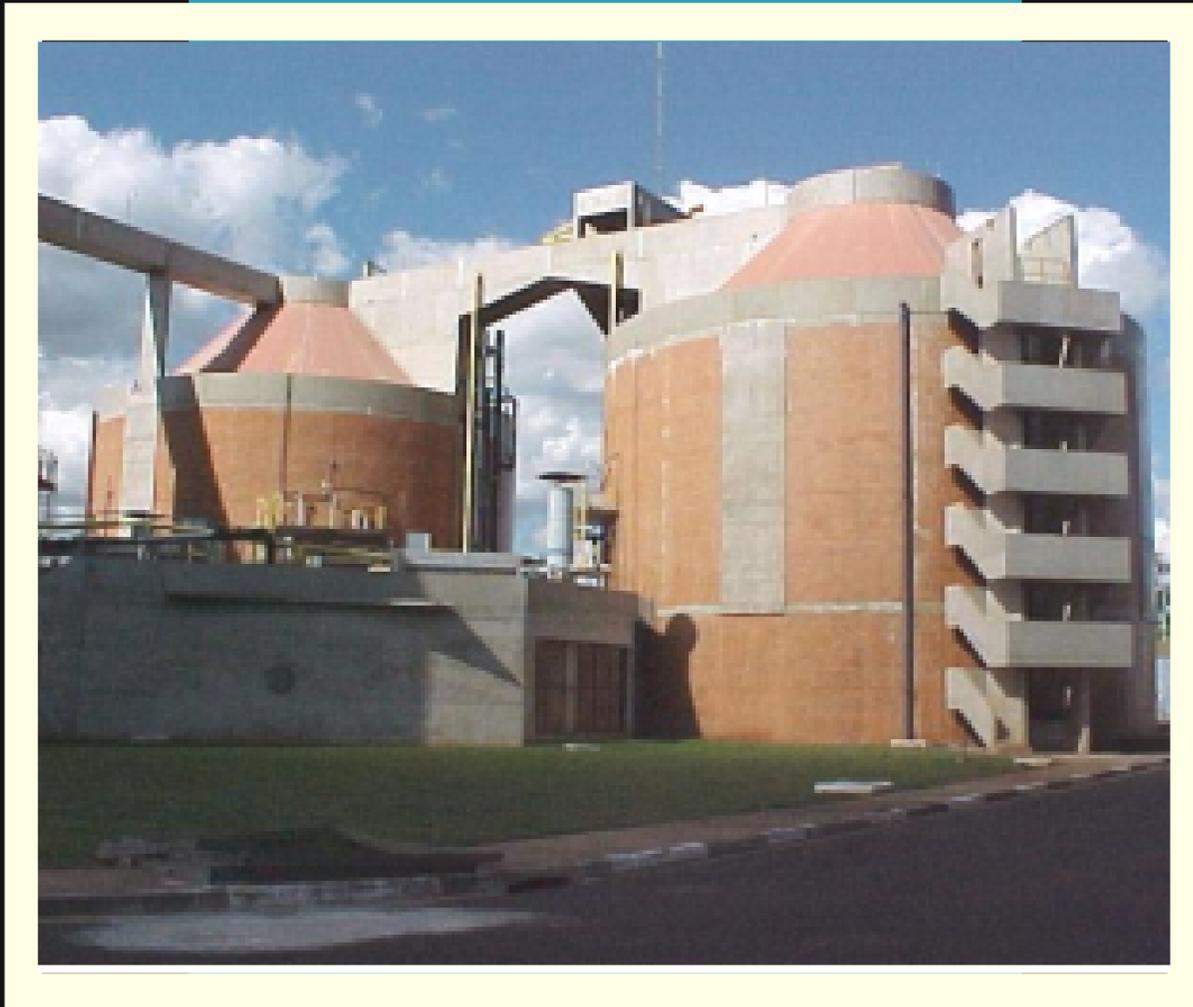
---

- Combustível renovável;
- Diminuição na emissão;
- Retêm 25 vezes mais calor do que as de gás carbônico.



# Estudo de caso

---



**Produção e uso do  
biogás metano na ETE  
Franca da Sabesp**

# Contexto do Biogás na Sabesp

---

- Produzido da digestão anaeróbica de lodos no tratamento de esgotos.
- Queimado em flares.
- Experiência nos anos 80 no seu tratamento e uso em veículos (ETE Leopoldina e Pinheiros)
- Segunda maior fonte de emissão de GEE: frota de veiculares da empresa (2008).

# Tratamento do Esgoto

---

Estágio único



Alta Taxa

Baixa Taxa

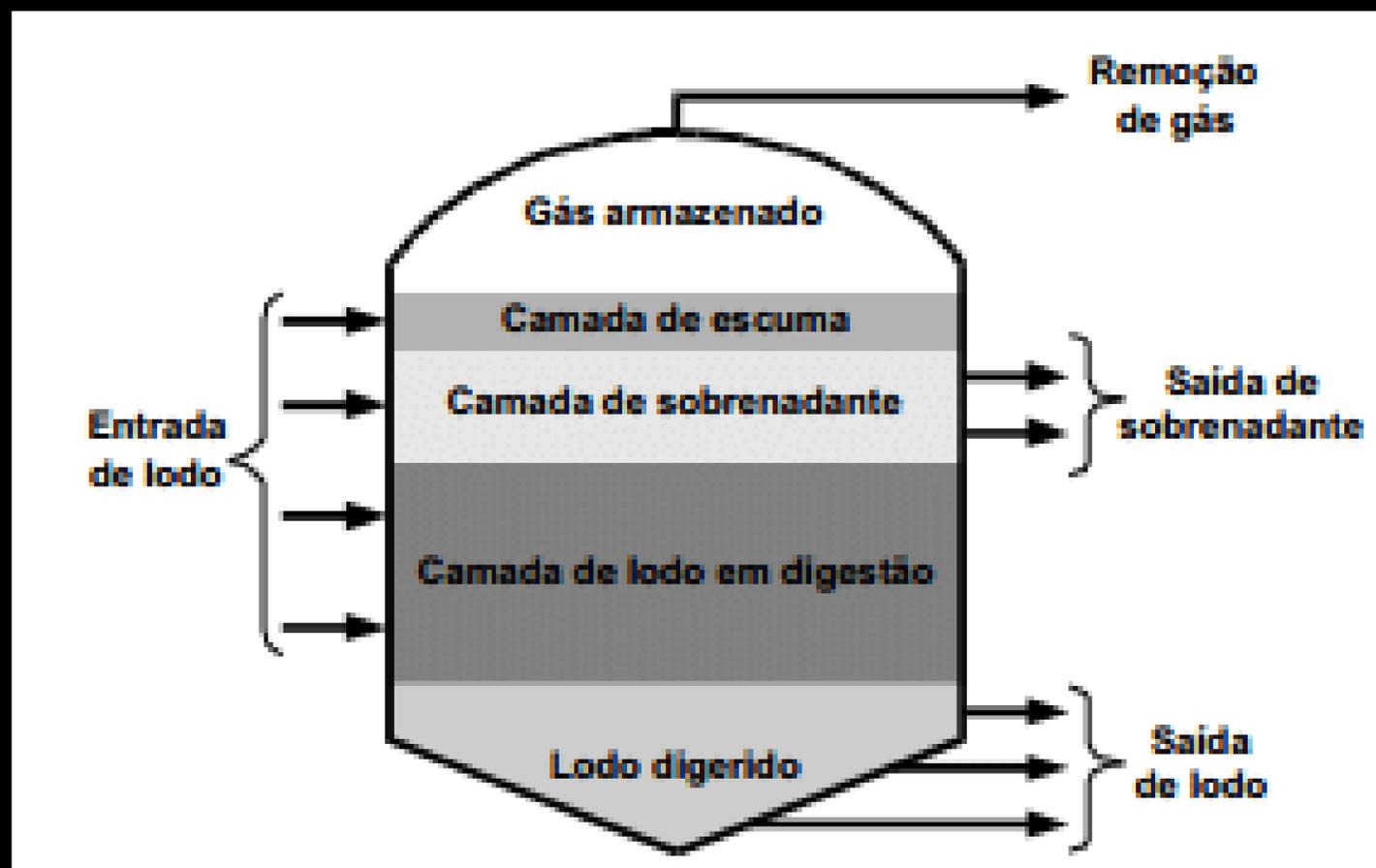
Estágio múltiplo



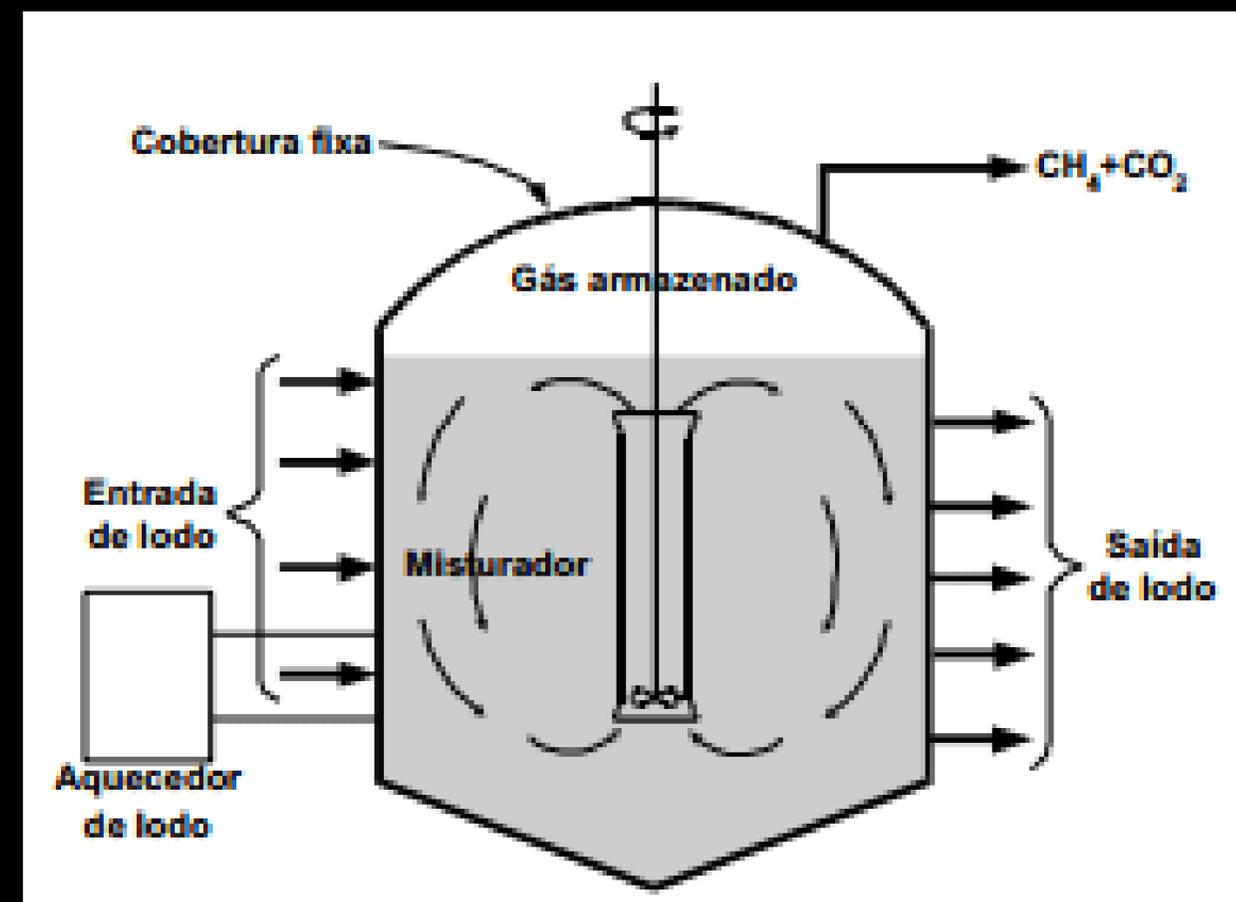
Convencional

# Tratamento do Esgoto

Baixa Taxa



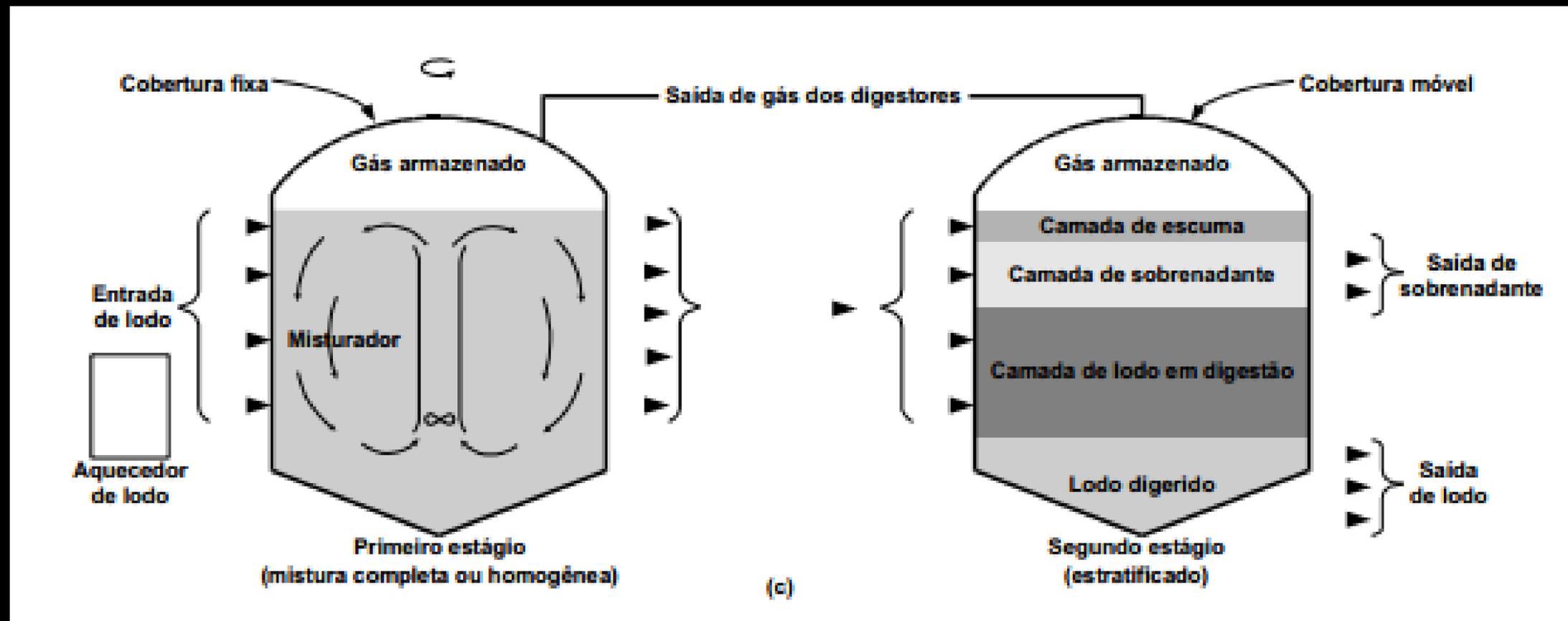
Alta Taxa



Na mesma unidade apresentam a função de digestão, adensamento e formação de sobrenadante

# Tratamento do Esgoto

Convencional



Digestor Primário → Digestor Secundário

# Sequencia metabólica

---

**Equação Geral:**



# Funcionamento e Períodos

---

Acidificação

Digestão de  
Ácidos

Gaseificação

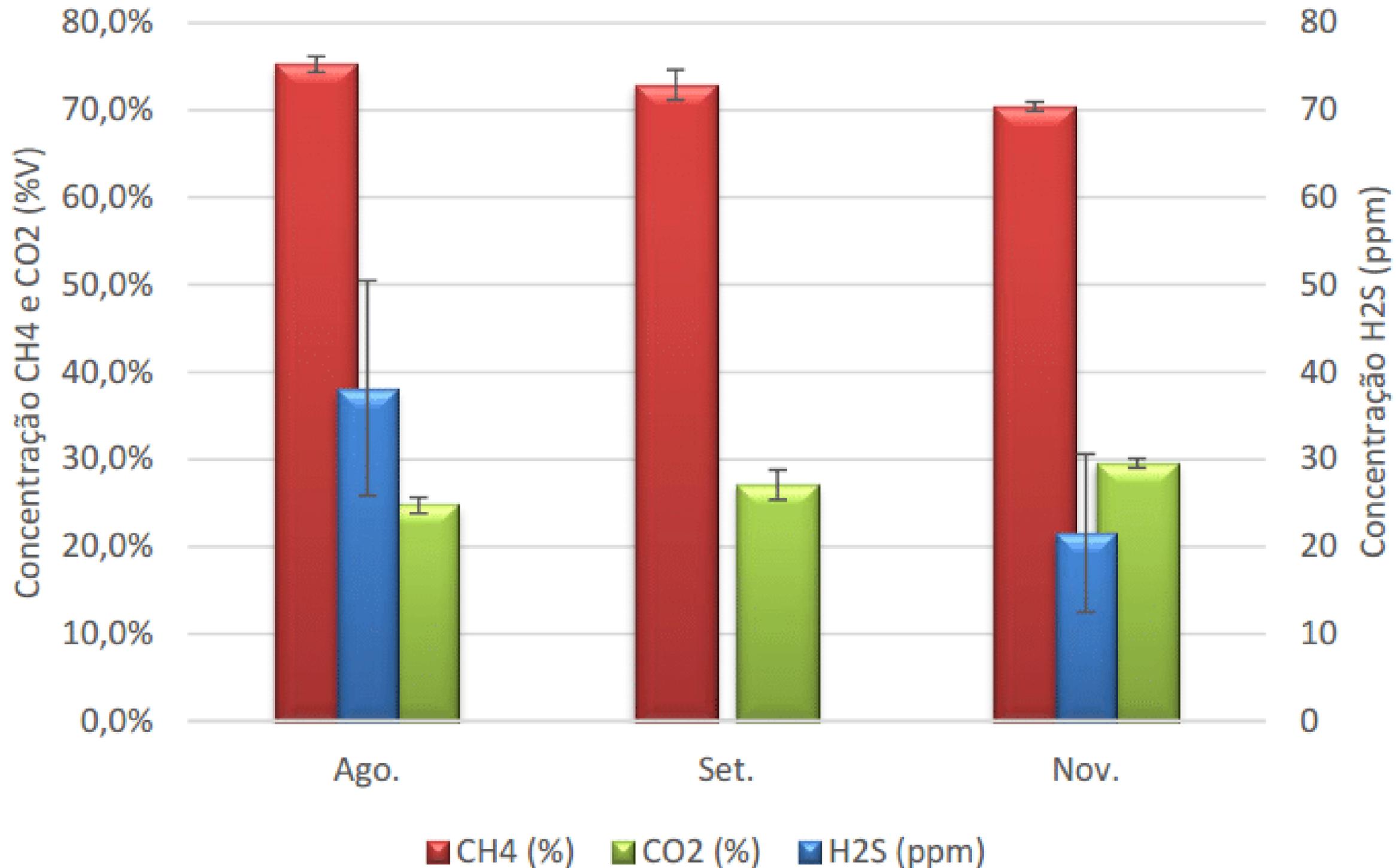
O sistema sofre pouca variação do pH

# Biogás

---

- Vazão do Tratamento de Esgoto: 450 L/s
- Produção de Biogás: 2.600 Nm<sup>3</sup>/dia
- Composição do Biogás : 65 % - 70 % CH<sub>4</sub>;  
H<sub>2</sub>S < 50 ppm

# Composição do Biogás



# Sistema de Beneficiamento do Biogás na ETE Franca

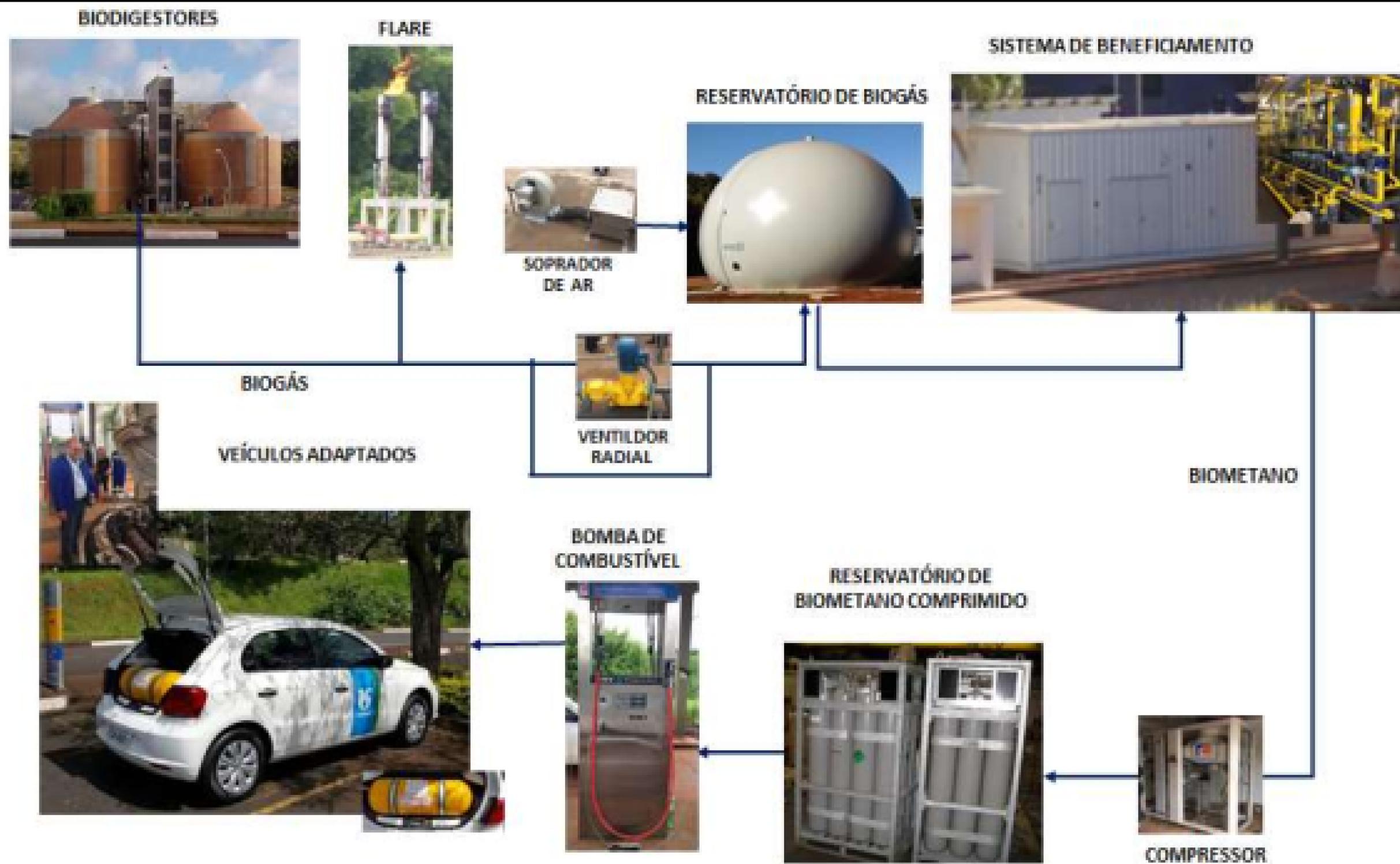
---



## Objetivos



- Utilizar biogás gerado nos digestores anaeróbios e produzir biometano para uso em combustível
- Demonstrar a viabilidade do biometano como combustível veicular
- Utilizar fonte de energia disponível na ETE
- Reduzir emissão dos gases de efeito estufa

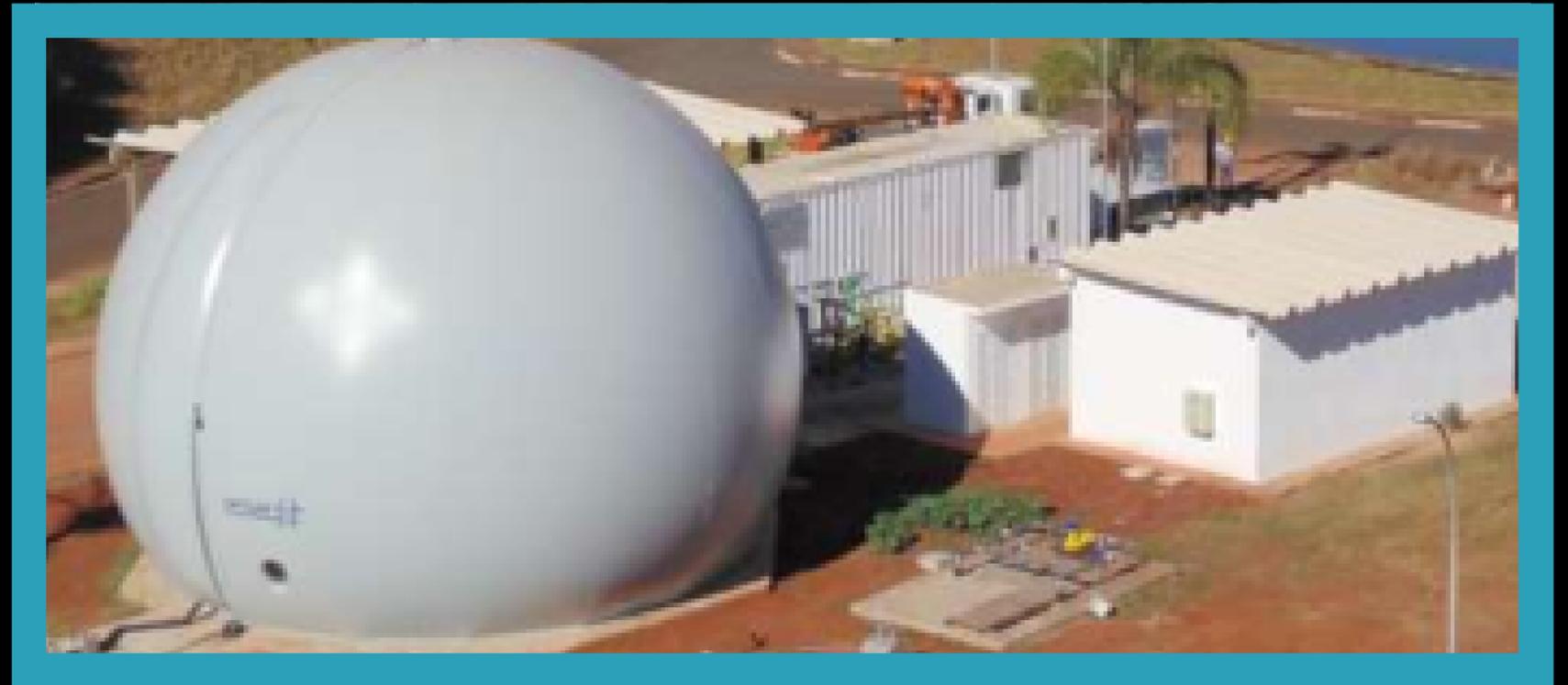


**Sistema de Beneficiamento de Biogás Fonte: Adaptado de Waelkens and Sternad, 2011.**

# Reservatório de Biogás

Capacidade: 1.040 m<sup>3</sup>

Pressão: 28 mbar



Fonte: Sabesp

# Sistema de Beneficiamento do Biogás

---



## Obtenção do Biometano



Compressão do Biogás (2 a 4 bar)



Refrigeração



Remoção de H<sub>2</sub>S

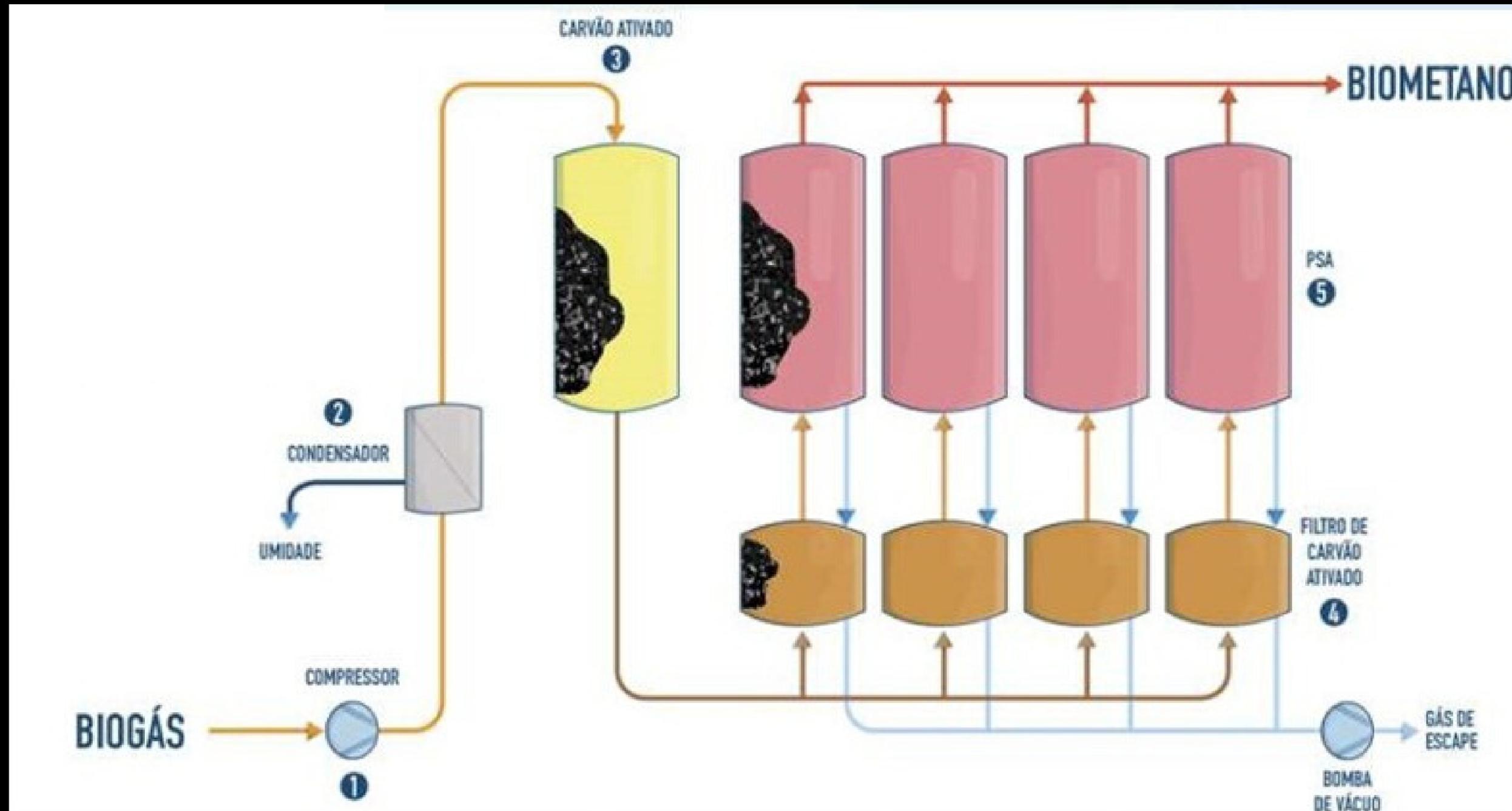


Remoção de Impurezas (siloxanos)



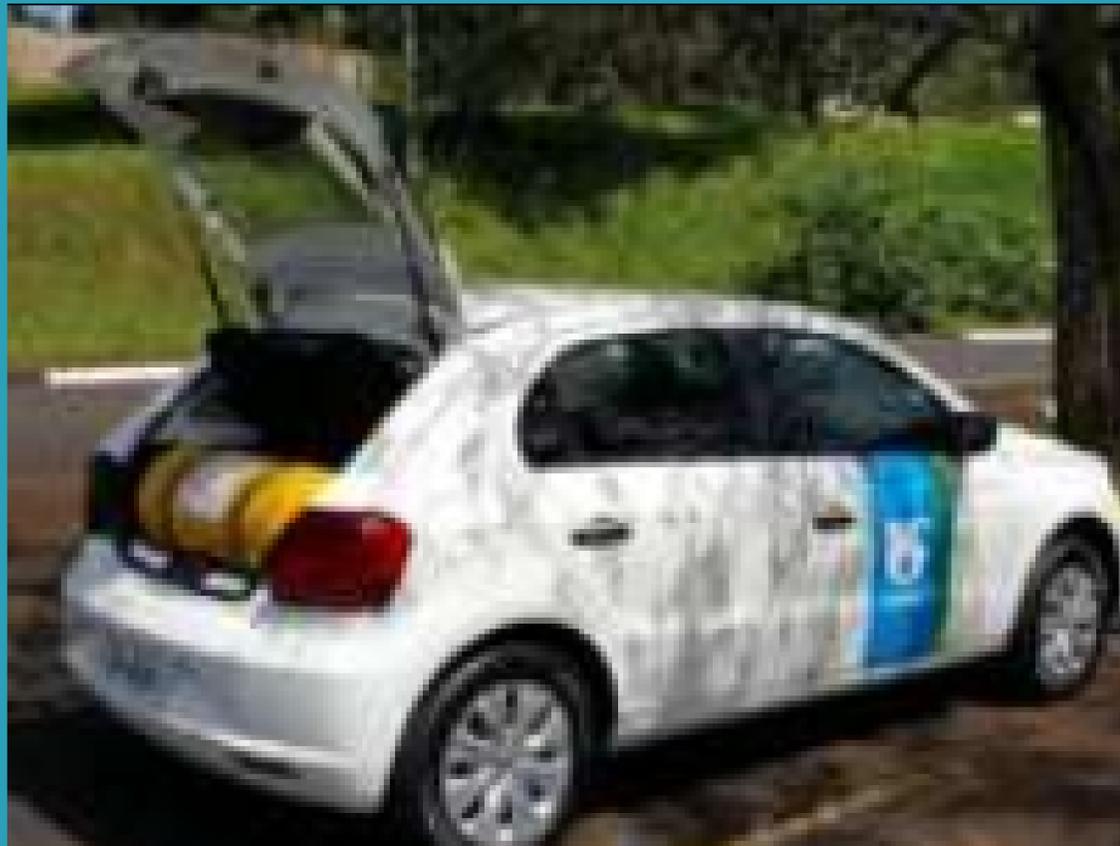
Separação do CO<sub>2</sub> - CH<sub>4</sub>

# Interior do Sistema de Beneficiamento



Fonte: Sistema de beneficiamento de biogás, instalado dentro do contêiner (adaptada de Schulte-Schulze Berndt, 2006)

# Abastecimento com Biometano



# Sistema de Beneficiamento do Biogás



## Resultados



- Concentração de metano obtida no combustível: 96 a 97,7% (recomendação do fornecedor de CH<sub>4</sub> > 95%);
- Total de 19 veículos adaptados utilizam biometano  
↳ Representa 10 % da capacidade de produção

# Sistema de Beneficiamento do Biogás

---



## Vantagens



- Redução de gastos com combustível

↳ Substitui aproximadamente 1.770 L de gasolina ou 2.265 L de álcool

- Redução das emissões de Gáses Efeito Estufa

↳ A emissão de GEE do veículo será zero

# Sistema de Beneficiamento do Biogás

---



## Perspectivas Potenciais



- Ofertar o biometano para utilização em frota de ônibus municipal em conjunto com a prefeitura
- Futura comercialização do biometano em indústrias locais e concessionárias distribuidoras de gás
- Referência para aplicação em outras ETEs