



# 1º Fórum Técnico

ETEs Sustentáveis

Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto



Realização:



**inct**  
ETEs Sustentáveis



**CREA-MG**  
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais



# Parte 4: Controle de corrosão e emissões gasosas

*Emanuel Brandt, Juliana Santos, Cláudio Souza, Gustavo Possetti, Thiago Bressani, Antônio Neves, Carlos Chernicharo*





# Tópicos de interesse

Tópicos de interesse	Nota Técnica correspondente
1. Tratamento preliminar, bombeamento e distribuição de vazão	Parte 2: Tratamento preliminar, bombeamento e distribuição de vazão (BRESSANI-RIBEIRO <i>et al.</i> , 2018);
2. Gerenciamento de espuma	Parte 3: Gerenciamento de lodo e espuma (LOBATO <i>et al.</i> , 2018);
3. Gerenciamento de lodo	Parte 3: Gerenciamento de lodo e espuma (LOBATO <i>et al.</i> , 2018);
4. Corrosão e emissões odorantes	Parte 4: Controle de corrosão e emissões odorantes (BRANDT <i>et al.</i> , 2018);
5. Biogás e emissões fugitivas de metano	Parte 5: Biogás e emissões fugitivas de metano (POSSETTI <i>et al.</i> , 2018);
6. Qualidade do efluente	Parte 6: Qualidade do efluente (ALMEIDA <i>et al.</i> , 2018).

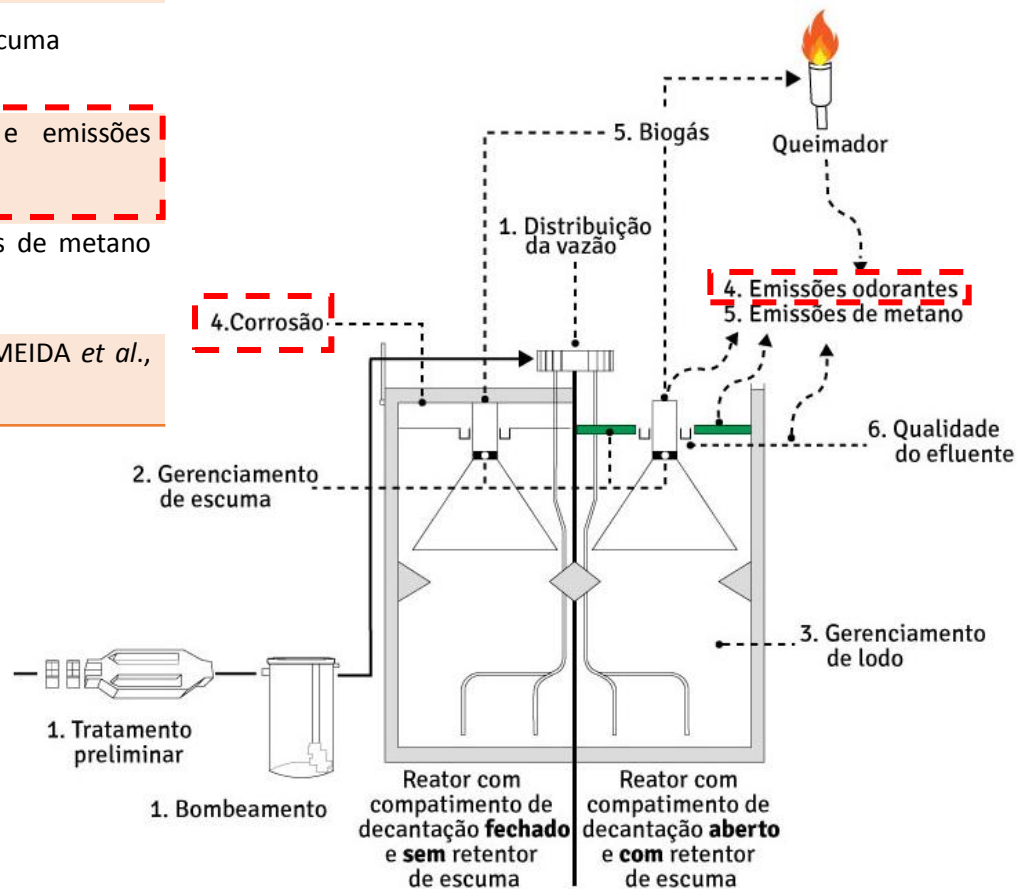
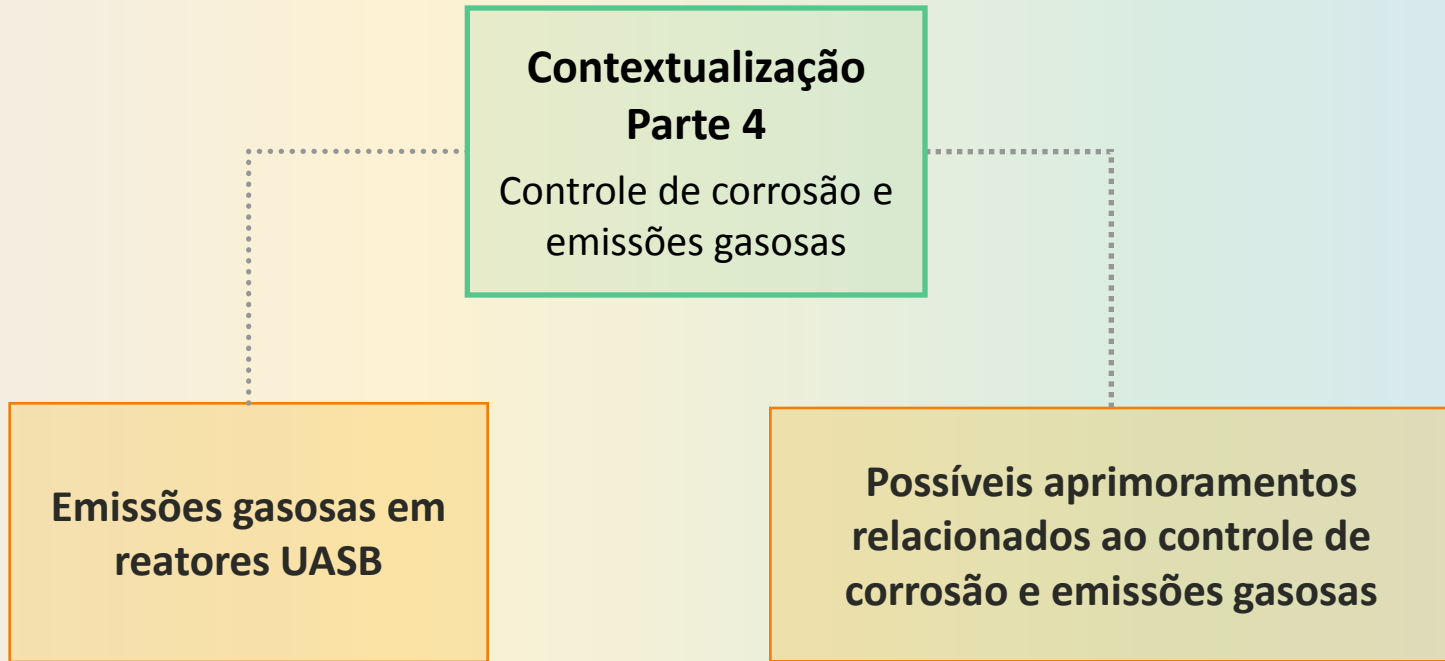


Figura 1 - Tópicos de interesse para o aprimoramento de reatores UASB





# Introdução

**Reatores UASB** → Limitações relacionadas às **emissões gasosas fugitivas**

Gases responsáveis pelos **odores** e pela **corrosão** gerados nas diversas etapas da ETE, notadamente na etapa do tratamento anaeróbio

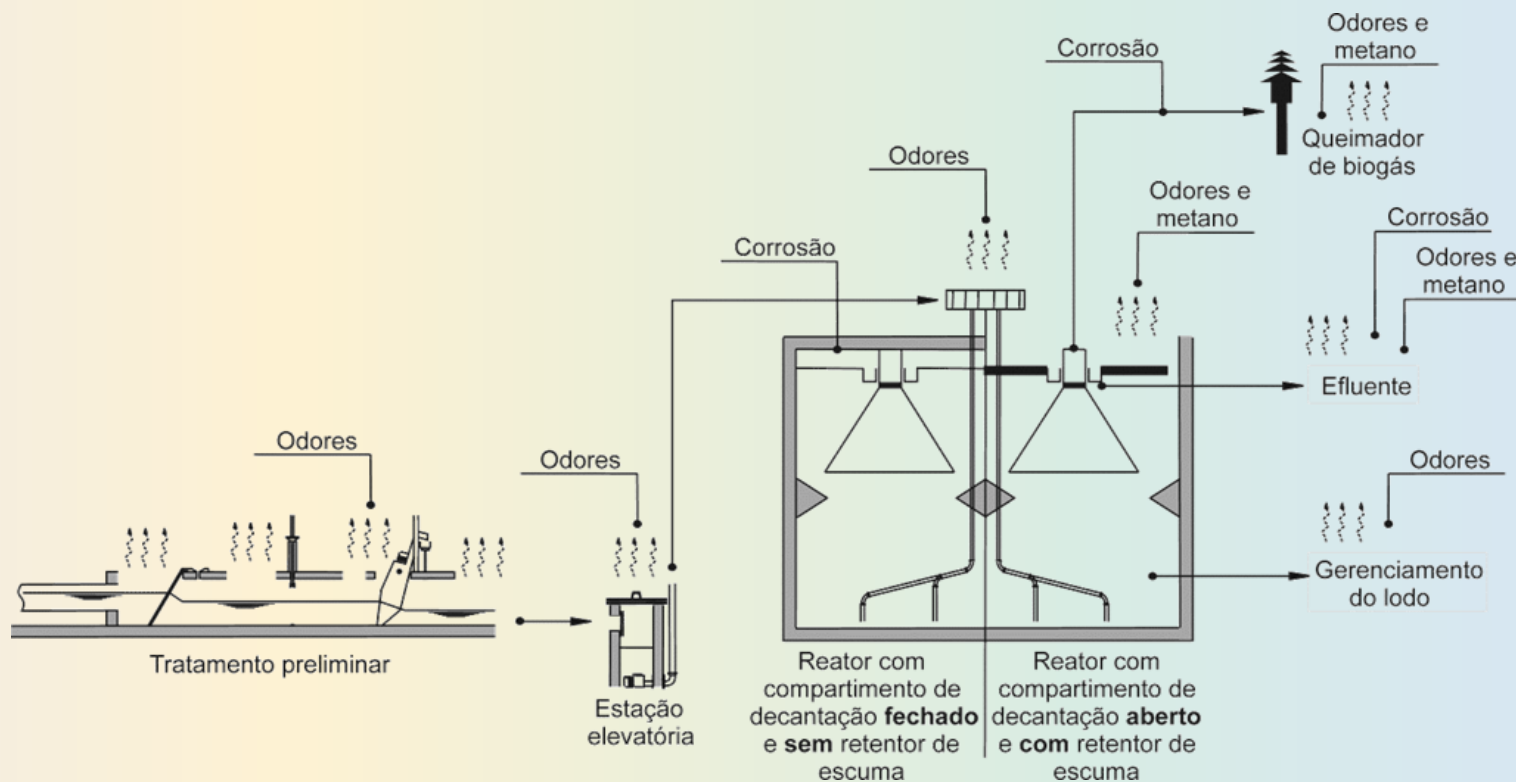


Figura 1 –Emissões gasosas fugitivas nas diversas etapas de uma ETE, com destaque para os reatores UASB.



# Introdução

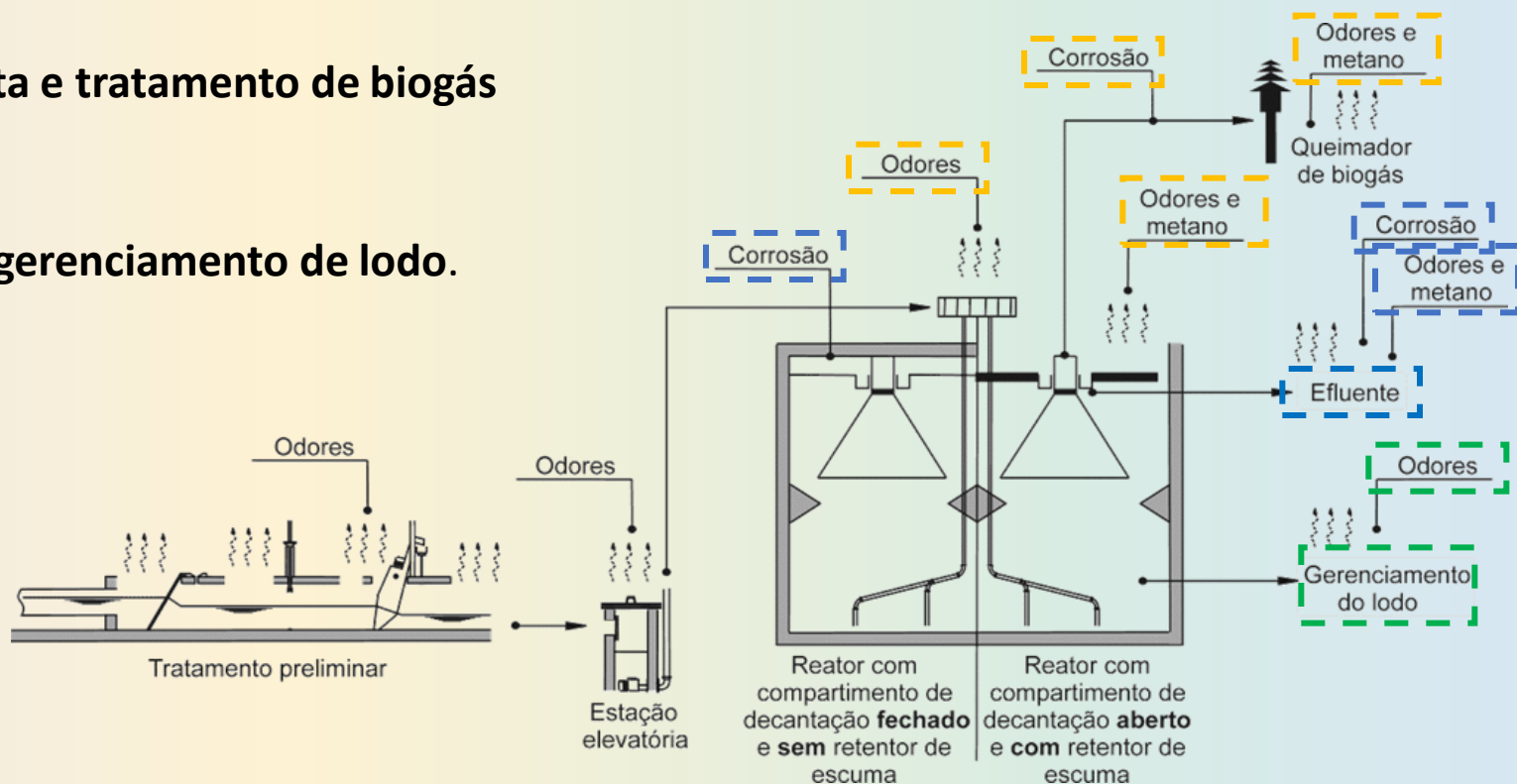
## Reatores UASB ➔ Limitações relacionadas às emissões gasosas fugitivas

➔ **Gases dissolvidos** nos efluentes dos reatores UASB

Emissão difusa de **gases de efeito estufa (GEE)**

➔ Linha de **coleta e tratamento de biogás**

➔ Unidades de **gerenciamento de lodo**.



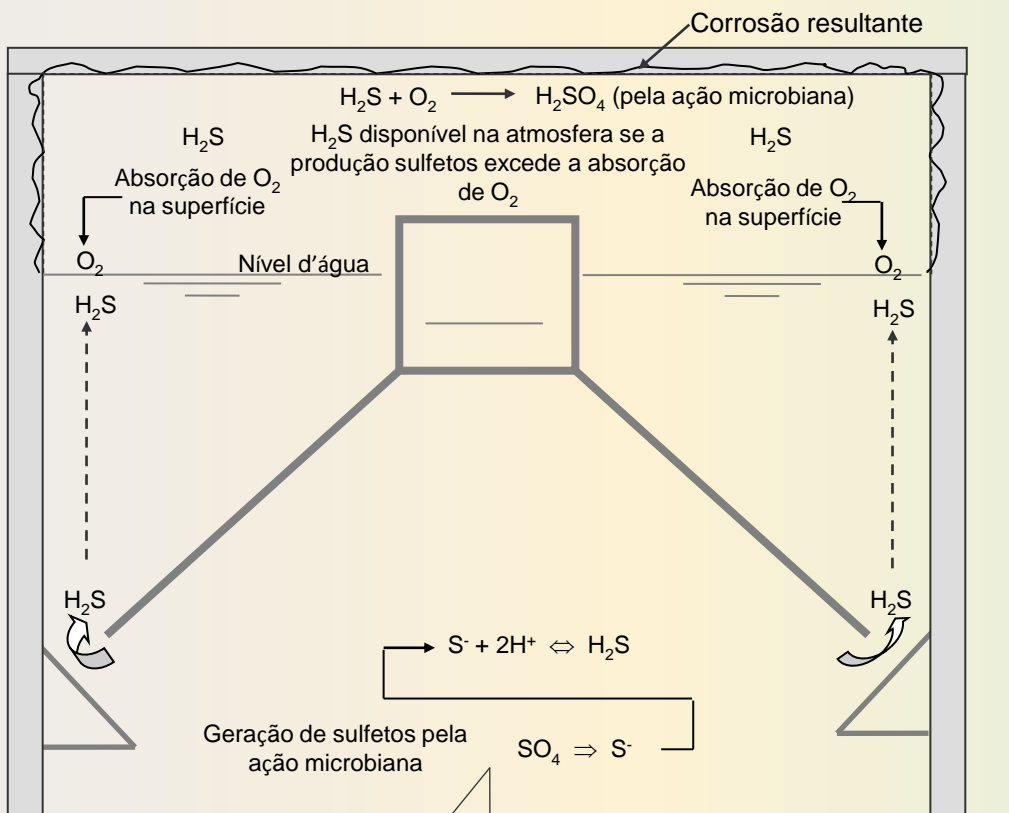
**Figura 1** –Emissões gasosas fugitivas nas diversas etapas de uma ETE, com destaque para os reatores UASB.



# Origem e problemas relacionados às emissões gasosas

## Principais problemas:

- **Corrosão**
- Odores
- Impactos sobre o bem estar da população e trabalhadores





# Origem e problemas relacionados às emissões gasosas

## Principais **problemas**:

- **Corrosão**
- **Odores**
- **Impactos sobre o bem estar da população e trabalhadores**

## Outro gases odorantes:

- Outros compostos de enxofre (p. Ex.: Mercaptanas)
- Ácidos orgânicos voláteis
- Aldeídos
- Álcoois
- Fenóis
- Amônia
- Aminas

Fonte: CHERNICHARO, 2007; METCALF & EDDY, 2016.

**H<sub>2</sub>S** → Limiar de detecção humano variando entre 0,47 ppb<sub>v</sub> (0,00047 ppm<sub>v</sub>) e 100 ppb<sub>v</sub> (0,1 ppm<sub>v</sub>)

Fonte: METCALF & EDDY, 2016.







# Origem e problemas relacionados às emissões gasosas

## Principais problemas:

- Corrosão
- Odores
- **Impactos sobre o bem estar da população e trabalhadores**



Emissões odorante afetam a qualidade de vida da população, acarretando **insônia, perda de apetite, estresse psicológico e comportamento irracional.**

## Exposição prolongada de seres humanos a concentrações de $H_2S$ :

- 10 a 21 ppmv (6-7h) → **irritação** ocular
- 150 a 200 ppmv (2-15min) → **perda do olfato**
- 200 a 300 ppmv (20min) → edema pulmonar, convulsão, tontura, desorientação **perda de consciência momentânea**
- 900 ppmv (1 min) → **Inconsciência e morte**
- 1.800 - 3.700 ppmv (segundos) → **morte instantânea**



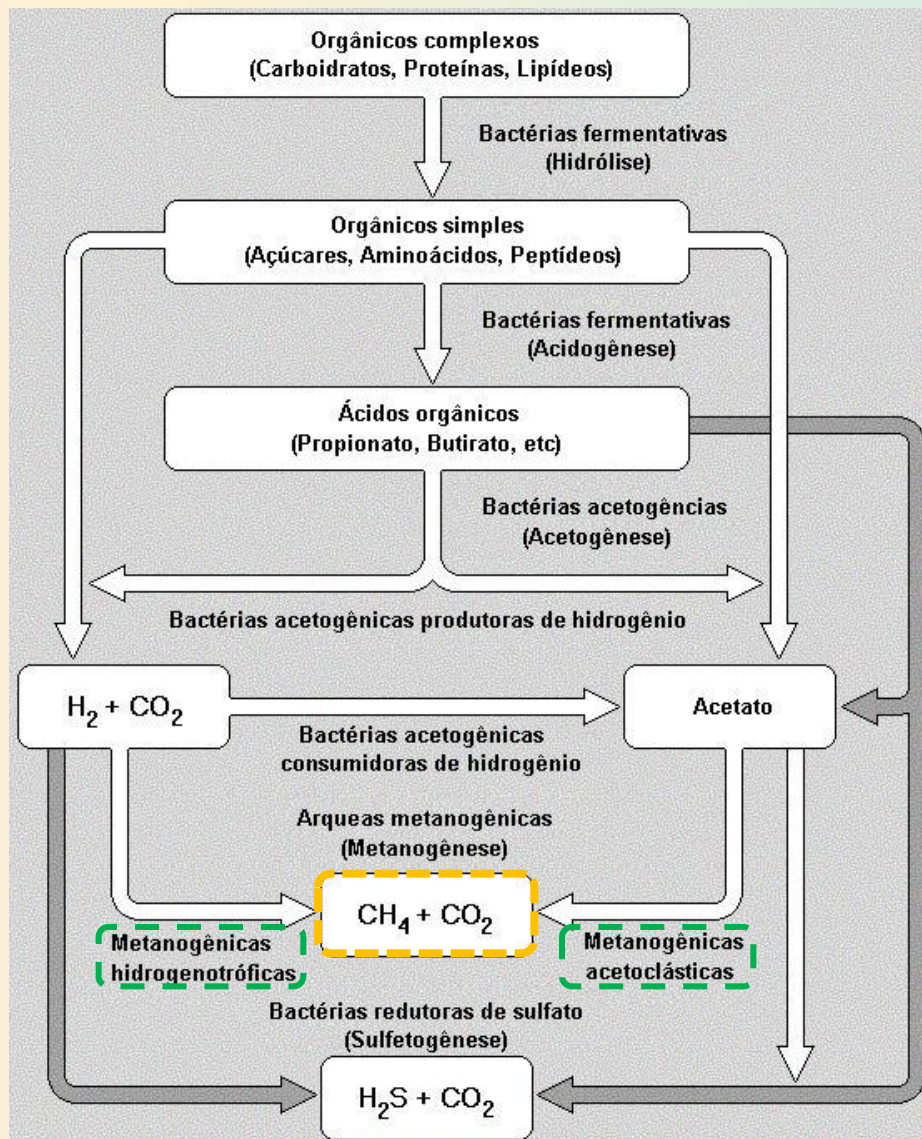
Limite de tolerância de 8 ppm para jornadas de trabalho de até 48 h por semana

Fonte: NR 15 do Ministério do Trabalho e Emprego (BRASIL, 1978)



# Origem e problemas relacionados às emissões gasosas

## Formação de $\text{CH}_4$





# Origem e problemas relacionados às emissões gasosas

- Emissões fugitivas**

Quando os gases são liberados para a atmosfera de forma difusa e sem uma medida de controle

EE

TP

Reator  
UASB

- Gás residual**

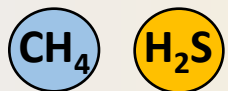
Quando se confina a fonte de emissão fugitiva e gera-se uma corrente gasosa por meio de exaustão

EE

TP

Reator  
UASB

- Biogás**



Quando é realizada a coleta dos gases gerados no compartimento de digestão dos reatores UASB, a partir da câmara de gás do **separador trifásico**

Reator  
UASB

- Emissão pontual**

Quando os gases são emitidos a partir da combustão do biogás

Unidades de aproveitamento energético

Queimadores

# Possíveis aprimoramentos relacionados ao controle de corrosão e emissões gasosas





## Possíveis aprimoramentos: controle de corrosão e emissões gasosas

### Ações preventivas

Ações para **redução** da formação e do desprendimento dos gases odorantes (que inclui **concepções de projeto** adequadas a esses objetivos, práticas de controle operacional, adição de produtos químicos nas etapas do tratamento do esgoto etc.) ou **diluição** do ar contaminado

### Ações corretivas

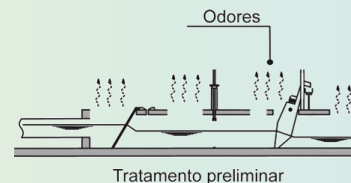
Tratamento **após a geração** dos gases odorantes, sendo, contudo, um método de controle que demanda **investimentos financeiros** significativamente **maiores**



# Controle preventivo das emissões gasosas

Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

- Emissões nas unidades **de tratamento preliminar** da ETE



## Possíveis aprimoramentos:

### Projeto

- Dispositivos para permitir a **remoção de sedimentos acumulados** nos canais das grades e dos desarenadores
- **Regime hidráulico laminar** para canais **não confinados**
- **Regime turbulento** para canais **confinados**

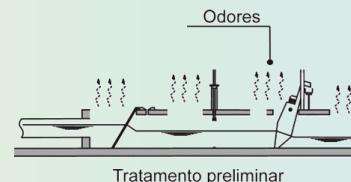




# Controle preventivo das emissões gasosas

Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

- Emissões nas unidades **de tratamento preliminar** da ETE



## Possíveis aprimoramentos:

### Operação

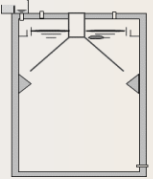


- **Gerenciamento** adequado dos **resíduos** do preliminar
- **Adição de ar e/ou agentes químicos** na rede coletora, em estações elevatórias e no tratamento preliminar
  - ✓ Reações de oxidação do sulfeto:  $H_2O_2$ ,  $Cl_2$ ,  $NaOCl$ ,  $KMnO_4$ ,  $NaMnO_4$
  - ✓ Reações de ionização do sulfeto:  $Mg(OH)_2$ ,  $NaOH$
  - ✓ Prevenção da formação do sulfeto: aeração,  $NaNO_3$ ,  $Ca(NO_3)_2$
- Estabelecimento de **pontos, procedimentos e horários** para recepção de **lodo de tanques sépticos**
- **Limpeza e lavagem** das unidades após as intervenções operacionais diárias e **pintura** após manutenção



# Controle preventivo das emissões gasosas

Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar



- Emissões fugitivas nos **reatores UASB**

## Possíveis aprimoramentos:

### Projeto



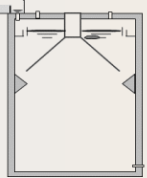
- Dispositivo para **evitar o acúmulo de espuma** dentro dos separadores trifásicos dos reatores UASB
- Projeto de reatores UASB com **decantadores estanques a gases**
- **Evitar quedas hidráulicas** na coleta e condução do efluente tratado





# Controle preventivo das emissões gasosas

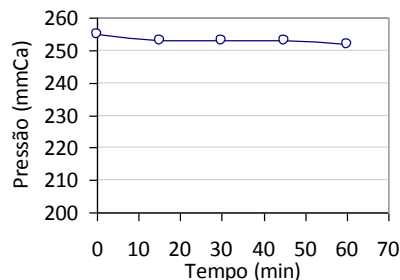
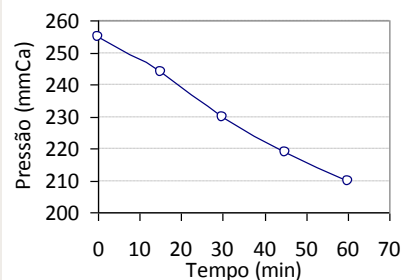
Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar



- Emissões fugitivas nos **reatores UASB**

## Possíveis aprimoramentos:

### Operação



- **Remoção** frequente da **escuma** acumulada em reatores UASB
- Realização de **testes de estanqueidade dos gases** nas câmaras de biogás e no decantadores
- **Manejo adequado das tampas de inspeção** nas câmaras de biogás e nos decantadores



# Controle preventivo das emissões gasosas

Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

- Emissões fugitivas **gerais**

## Possíveis aprimoramentos:

### Projeto

- **Barreiras físicas** no perímetro da ETE que induzam turbulência atmosférica

### Operação

- Implementação de **programa para recebimento de efluentes não domésticos**, de modo a restringir o lançamento de elevadas cargas de compostos precursores dos odores
- **Monitoramento** adequado da **concentração de sulfato afluente** à ETE
- **Monitoramento** das **emissões fugitivas** e **elaboração de mapas de odores** no entorno da ETE



# Controle preventivo das emissões gasosas

Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

-  • Emissões fugitivas **na etapas de gerenciamento de lodo**:

## Possíveis aprimoramentos:

### Operação

- **Restrição ao manuseio** de lodo não estabilizado
- **Evitar o cisalhamento** de lodo em **bombas**
- **Remoção diária** de lodo desidratado
- **Adição de permanganato ou sais de ferro** ao lodo
- **Contenção, exaustão e tratamento** dos gases residuais contendo amônia, emitidos a partir da estabilização alcalina prolongada do lodo





# Controle corretivo das emissões gasosas

Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

## Possíveis aprimoramentos: Contenção e exaustão dos gases

- Ainda que medidas preventivas de emissões gasosas sejam aplicadas, pode se tornar indispensável:
  - ✓ **Contenção das fontes** emissoras, por meio de coberturas/galpões
  - ✓ **Introdução de ar atmosférico** dentro das áreas confinadas
  - ✓ **Captação/exaustão dos gases** residuais gerados



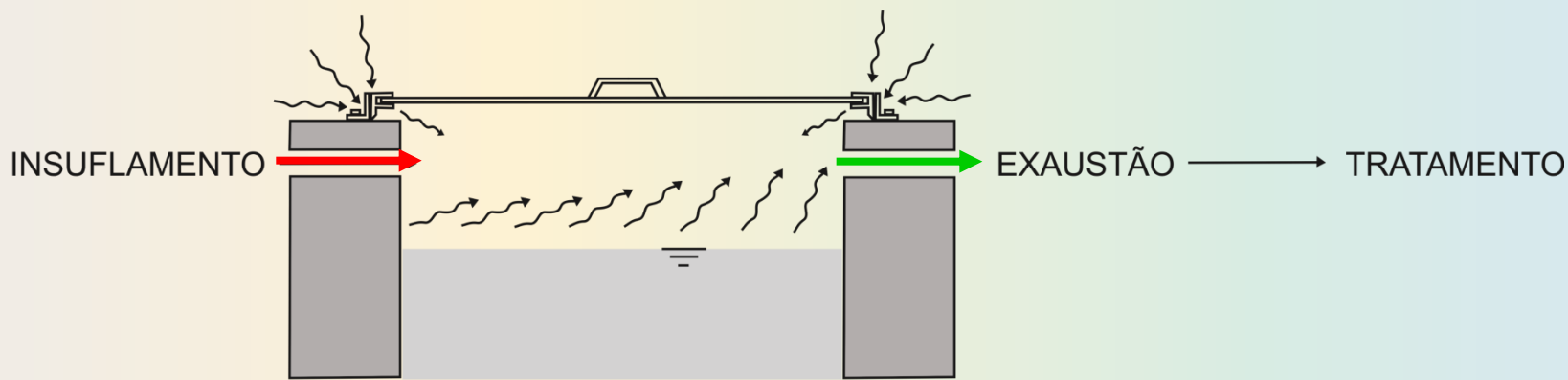


# Controle corretivo das emissões gasosas

Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

Possíveis aprimoramentos: Contenção e exaustão dos gases

- **Taxa de renovação da atmosfera**
  - ✓ 4 a 6 renovações / h para ambientes não visitáveis
  - ✓ 10 renovações / h para ambientes visitáveis
- **Pressão diferencial negativa**
  - ✓ Velocidade nominal mínima do gás nas aberturas de entrada: 6,4 m/s para 2,5 mmCA
- **Potencial de inflamabilidade do  $\text{CH}_4$  e do  $\text{H}_2\text{S}$**





# Controle corretivo das emissões gasosas

Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

- Emissões nas unidades de **tratamento preliminar** da ETE

## Possíveis aprimoramentos:

### Contenção e exaustão dos gases



- Contenção total** dos odores e gases corrosivos gerados

✓ Maiores investimentos

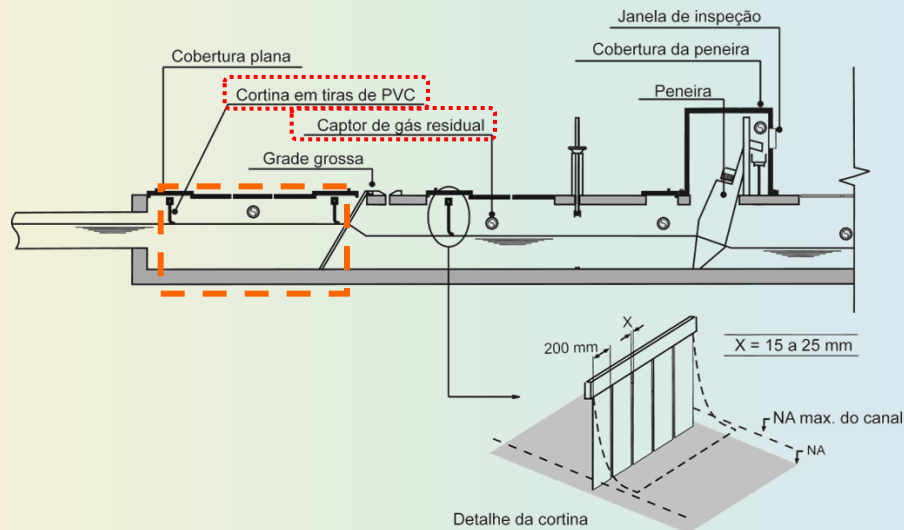
✓ Construção de um galpão que confine todo o TP

- Alternativa menos dispendiosa:**



✓ Cobertura dos canais e criação de zonas de pressão negativa

- ✓ Instalação de captores de ar interligados ao sistema de exaustão
- ✓ Cortinas em tiras de PVC



Esquema da contenção de odores e gases corrosivos no tratamento preliminar



# Controle corretivo das emissões gasosas

Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

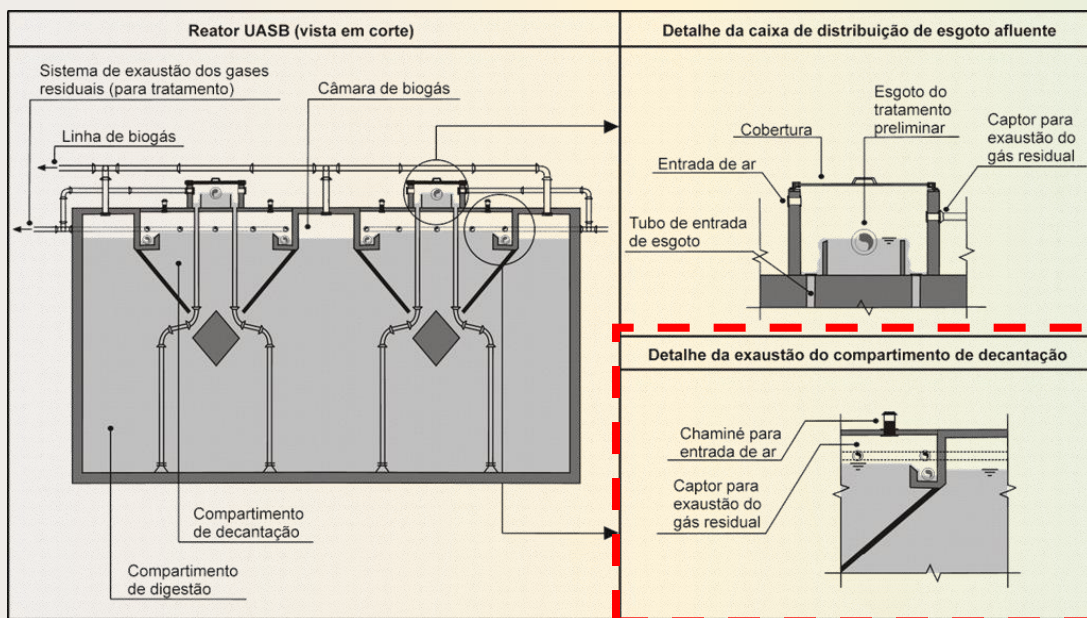
- Emissões fugitivas nos reatores UASB

**Possíveis aprimoramentos:**

**Contenção e exaustão dos gases**

Acesso para limpeza e manutenção

- Cobertura** e exaustão dos dispositivos de distribuição de vazão que alimentam os reatores, do compartimento de decantação e das canaletas de coleta de efluente dos reatores



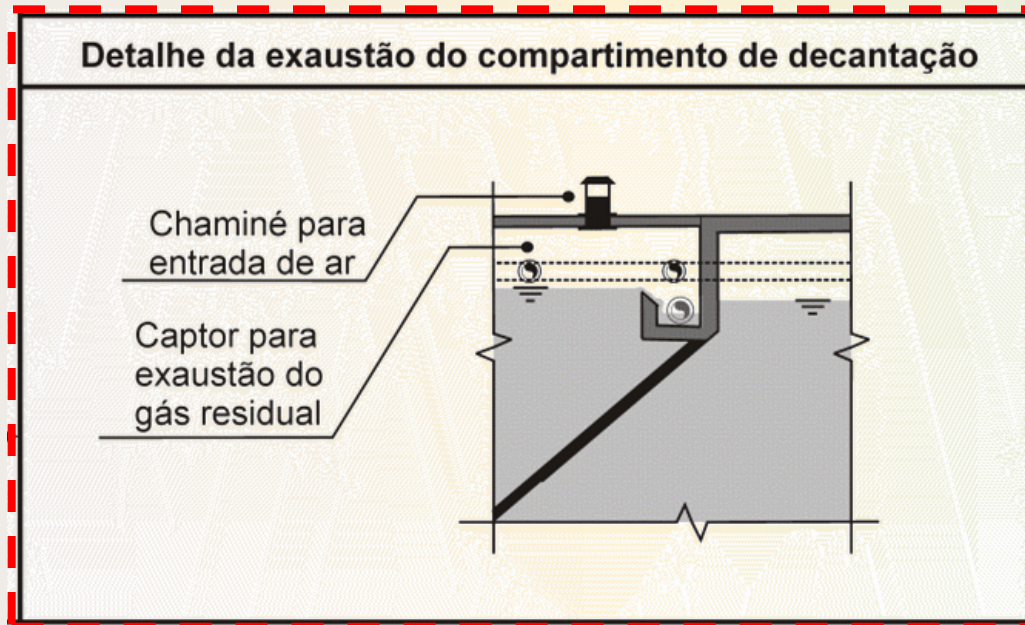


# Controle corretivo das emissões gasosas

Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

- Emissões fugitivas nos reatores UASB

**Possíveis aprimoramentos:** Contenção e exaustão dos gases



Aberturas na laje de cobertura para entrada de ar atmosférico e captores de gases residuais nas paredes laterais dos reatores, próximo ao NA e à coleta do efluente

Fluxo de gases na atmosfera confinada do compartimento de decantação deve sempre ser descendente



Menor possibilidade de condensação de umidade na laje



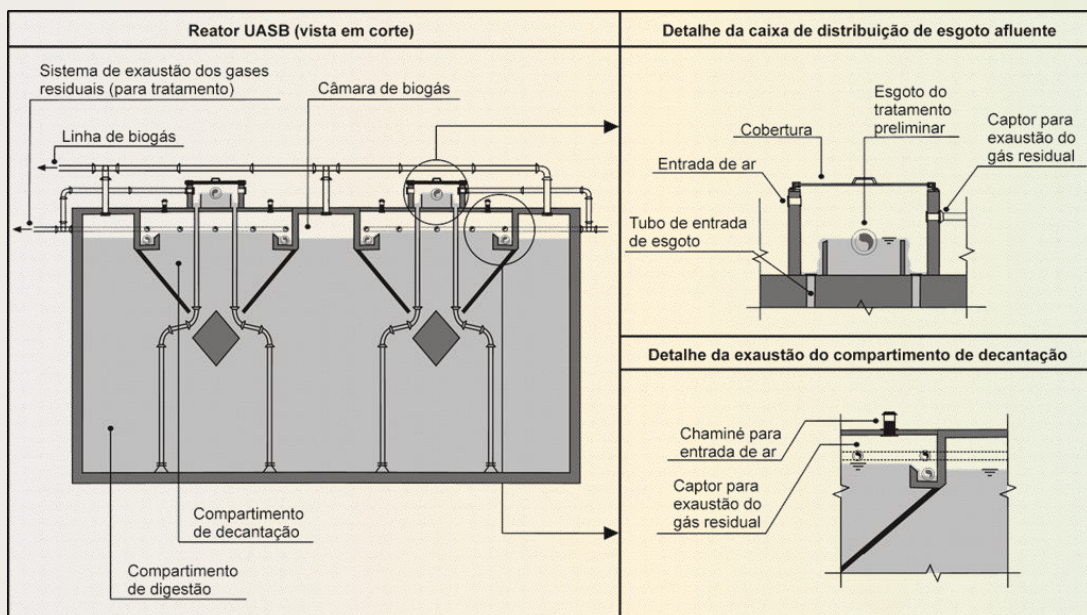


# Controle corretivo das emissões gasosas

Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

- Emissões fugitivas nos reatores UASB

## Possíveis aprimoramentos: Contenção e exaustão dos gases



Densidades relativas ao ar  $> 1$ , favorecendo sua acumulação nas regiões mais baixas do volume confinado

Como o volume confinado pode ser demasiadamente grande, **recomenda-se:**

- Aplicação de menores taxas de renovação da atmosfera confinada (3 a 4 renovações/h)

Acúmulo de espuma ou enclausuramento do compartimento de decantação?





# Controle corretivo das emissões gasosas

Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

Possíveis aprimoramentos:

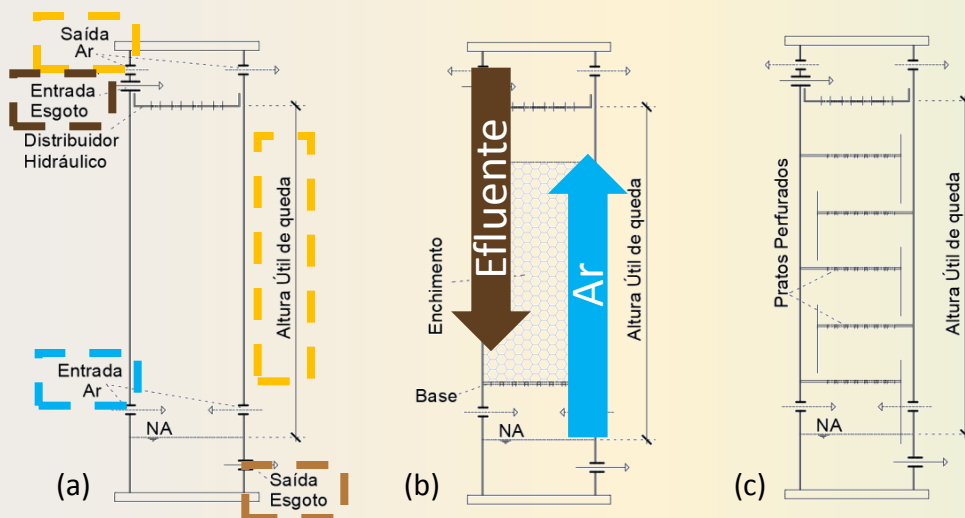
**Dessorção** dos gases dissolvidos em efluentes de reatores UASB

Processo de transferência de massa envolvendo a remoção de gases dissolvidos no efluente para um fluxo gasoso

- **Câmara de dessorção**: Unidade **simples, compacta, confinada** e dotada de **exaustão**, com o **gás residual capturado e encaminhado para tratamento adequado**

**Agitação da fase líquida** no interior de uma estrutura fechada com **fluxos d'água em queda livre e pressão interna igual à atmosférica**.

**Fluxo de gás aplicado no sentido oposto ao fluxo de esgoto**, aumentando a **taxa de transferência de massa** entre as fases



Esquema de câmara de dessorção: a) sem enchimento; b) com enchimento; c) com pratos



# Controle corretivo das emissões gasosas

Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

**Possíveis aprimoramentos:** Dessorção dos gases dissolvidos em efluentes de reatores UASB

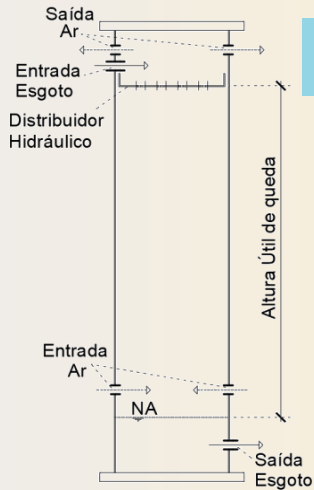




# Controle corretivo das emissões gasosas

Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

**Possíveis aprimoramentos:** Dessorção dos gases dissolvidos em efluentes de reatores UASB



## CD sem preenchimento

- + econômica
- eficiente

Suficientes para minimização de emissões fugitivas de  $H_2S$ ?

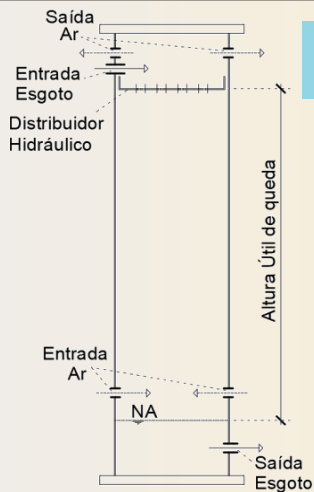
Fonte: Santo (2017), Glória (2018), Machado (2018).



# Controle corretivo das emissões gasosas

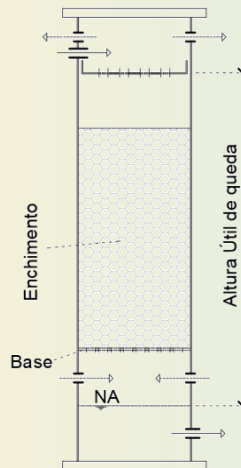
Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

**Possíveis aprimoramentos:** Dessorção dos gases dissolvidos em efluentes de reatores UASB



## CD sem preenchimento

- + econômica
- eficiente



## CD com preenchimento

Tipo de câmara de dessorção	Altura útil (H) (m)	TAS ( $m^3 \cdot m^{-2} \cdot min^{-1}$ )	$Q_g \cdot Q_e^{-1}$ (rQ)	Eficiência de remoção de $H_2S$ (%)	$H_2S$ gás residual ( $ppm_v$ )
Sem enchimento	1,0 a 1,5	0,10 - 0,30	2 a 10	40 - 70	100 - 400
Com enchimento <sup>(d)</sup>	1,2 a 1,5	0,15 - 0,30	3 a 4	65 - 85	200 - 600

Fonte: Santo (2017), Glória (2018), Machado (2018).



# Controle corretivo das emissões gasosas

Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

## Possíveis aprimoramentos:

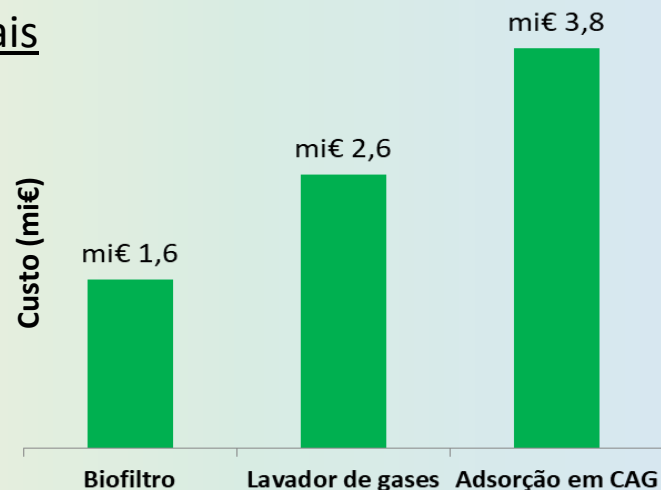
- Absorção físico-química
- Adsorção
- Biofiltração



## Tratamento dos gases residuais

- Valores para São Paulo (Brasil)
- 20 anos; custo de capital = 5%
- Capacidade de tratamento =  $50.000\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$

Fonte: Estrada *et al.* (2012)





# Controle corretivo das emissões gasosas

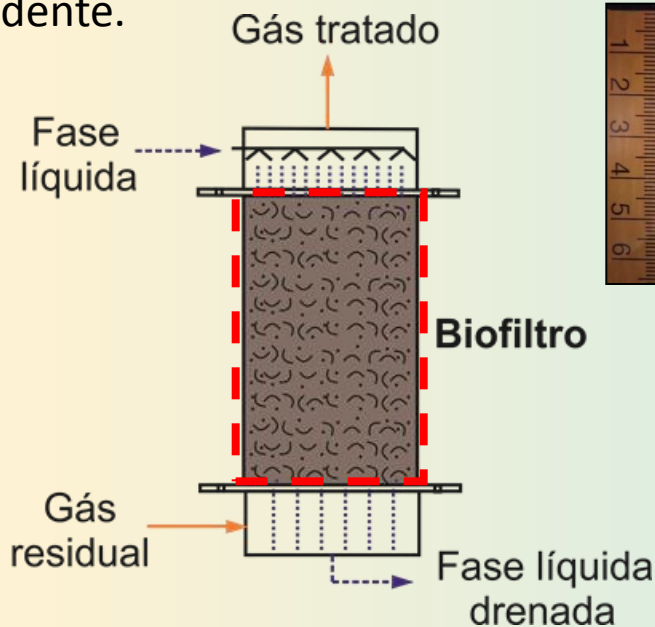
Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

Possíveis aprimoramentos: Tratamento dos gases residuais

- Biofiltração:**

Leito fixo de material de enchimento para o desenvolvimento de biomassa aderida (**biofilme**), através do qual o gás residual é insuflado em sentido ascendente ou descendente.

Objetivo de **fornecer nutrientes** para o crescimento de microrganismos, e deve ser **umidificado**





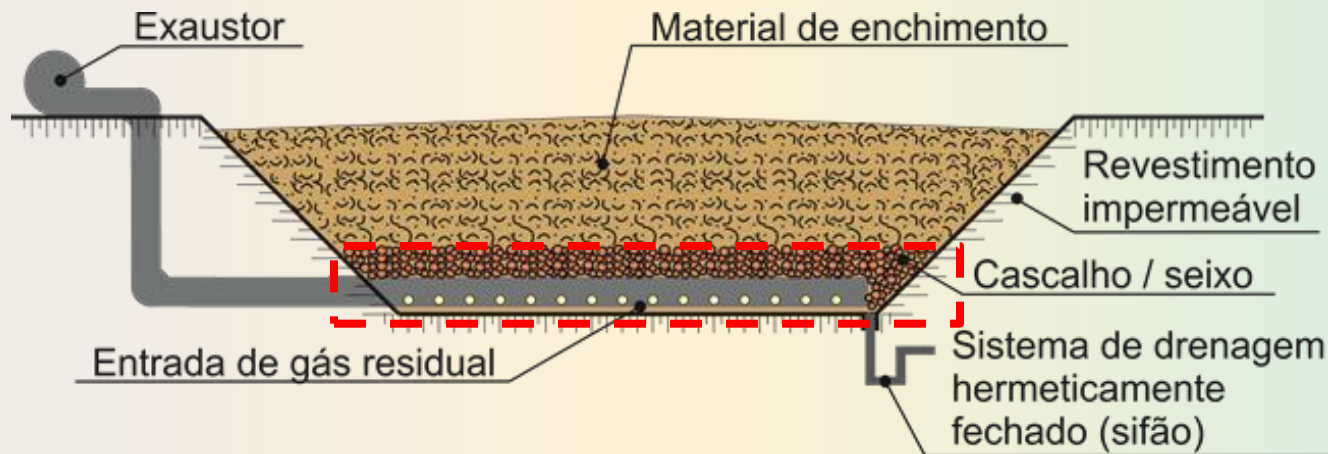
# Controle corretivo das emissões gasosas

Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

Possíveis aprimoramentos: Tratamento dos gases residuais

- **Biofiltração:**

- ✓ Biofiltro não estruturado e com enchimento de fundo (escavado em solo)





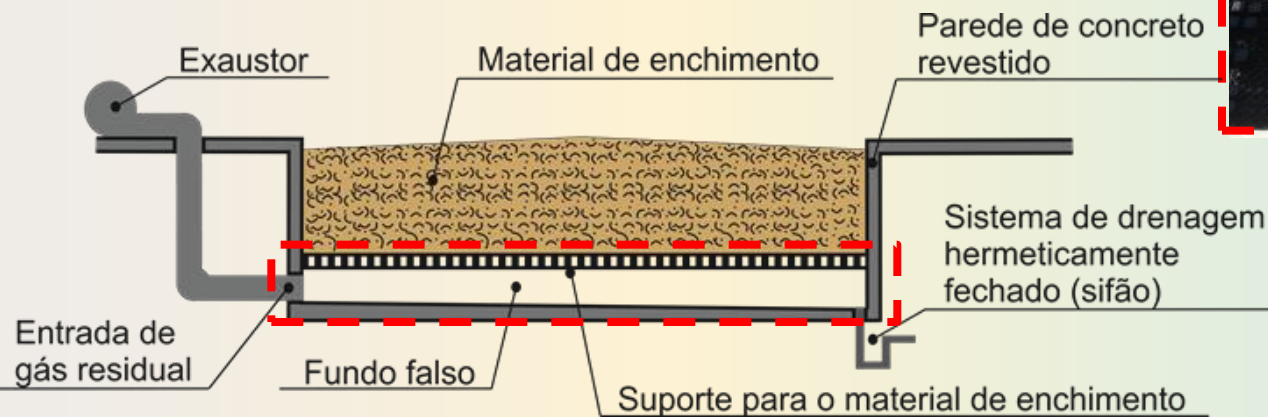


# Controle corretivo das emissões gasosas

Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

## Possíveis aprimoramentos: Tratamento dos gases residuais

- **Biofiltração:**
- ✓ Biofiltro estruturado e com fundo falso



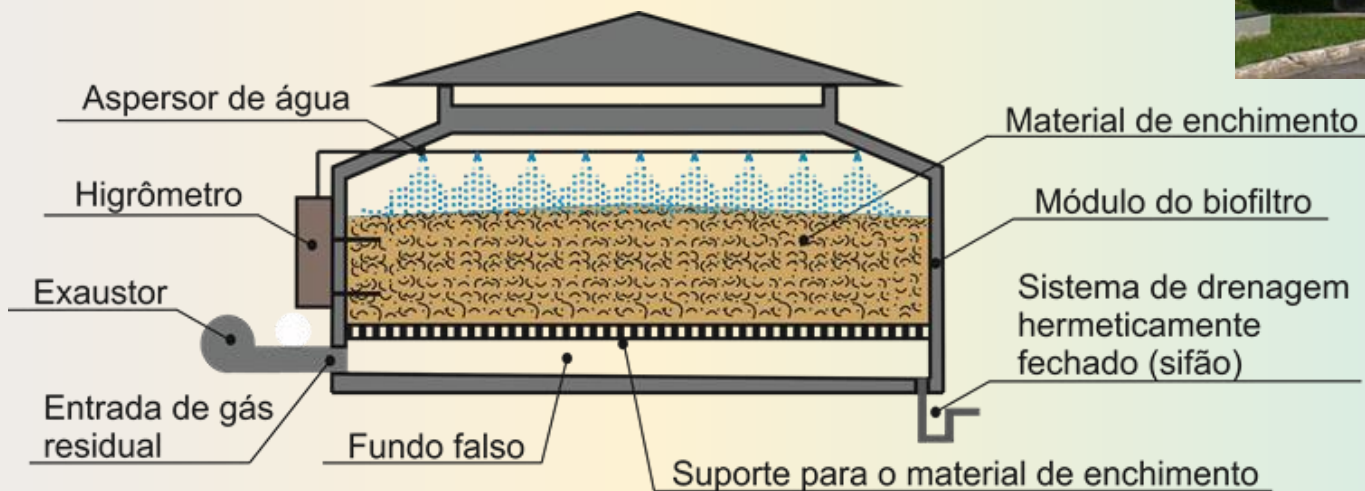


# Controle corretivo das emissões gasosas

Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

**Possíveis aprimoramentos:** Tratamento dos gases residuais

- **Biofiltração:**
- ✓ Biofiltro pré-fabricado





# Controle corretivo das emissões gasosas

Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

**Possíveis aprimoramentos:** Tratamento dos gases residuais

- **Biofiltração:**

Fatores que afetam a biofiltração dos gases residuais:

- Composição e o **fluxo do gás residual**
- **Características e a umidade dos materiais de enchimento**
- pH
- Temperatura

Dimensionamento do biofiltro:

- **Tempo de contato** do gás com o meio suporte
- **Taxa de aplicação superficial**
- Carga volumétrica

Abatimento de odores e de  $\text{CH}_4$ , recomenda-se:


Instalação de **dois biofiltros em série**, sendo o **primeiro** destinado ao tratamento dos **compostos odorantes** e o **segundo** destinado ao tratamento do  **$\text{CH}_4$** .



# Controle corretivo das emissões gasosas

Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

**Possíveis aprimoramentos:** Controle das emissões pontuais de odores e GEE

- **Queimadores** 
- ✓ Sem unidade de aproveitamento energético do biogás
- ✓ Com unidades de aproveitamento energético

Atmosférico

Ar forçado

Enclausurado

Aberto





# Controle corretivo das emissões gasosas

Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

## Possíveis aprimoramentos:

Uso de materiais resistentes à corrosão e revestimentos anticorrosivos



- Tubos e as conexões devem ser fabricados em **aço inoxidável** ou em **plástico adequado**
- **PEAD** são considerados adequados para a condução do biogás, ao contrário do PVC
- Número suficiente de **suportes** para mantê-los suspensos



# Controle corretivo das emissões gasosas

Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

Possíveis aprimoramentos:

Uso de materiais resistentes à corrosão e revestimentos anticorrosivos

- Material mais utilizado → **concreto**
- **Revestimento interno** das estruturas, principalmente nas regiões que ficam acima do nível do líquido
- **Separador trifásico** em material **mais resistente**, ou revestido com maior rigor



Aplicação de políbríd

Aplicação de PRFV





# Controle corretivo das emissões gasosas

Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

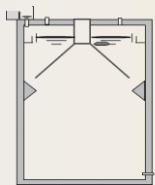
## Possíveis aprimoramentos:

### Uso de materiais resistentes à corrosão e revestimentos anticorrosivos

- Material mais utilizado → **concreto**
  - **Revestimento interno** das estruturas, principalmente nas regiões que ficam acima do nível do líquido
  - **Separador trifásico** em material **mais resistente**, ou revestido com maior rigor
- Aspectos a serem observados em estruturas de **concreto**:
    - Fator água/cimento
    - Vibração
    - Processo de cura
    - Tipo de cimento



## Considerações finais



Emissões gasosas

Possibilidade de corrosão

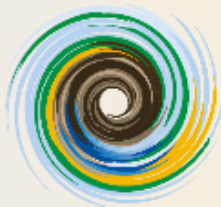
Controle preventivo e corretivo desses aspectos

- Alguns cuidados no **projeto** e na **operação** podem minimizar ou até mesmo sanar muitos problemas relacionados às emissões fugitivas
- A **contenção de fontes emissoras** e o **tratamento dos gases residuais** gerados podem ser indispensáveis quando se pretende o controle total dos odores
- Para o tratamento dos gases residuais gerados nas zonas confinadas e em câmaras de dessorção, a **biofiltração** apresenta-se como a **técnica mais adequada** se considerados os **aspectos econômicos** e de **eficiência** de tratamento
- Na concepção dos **separadores trifásicos** e **dispositivos de coleta e transporte de gases**, deve-se optar pelo uso de **materiais resistentes à corrosão**, bem como atentar para **aspectos de segurança** relacionados ao risco de explosão





# Obrigado pela participação!



**inct**  
ETEs Sustentáveis

