



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	
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).

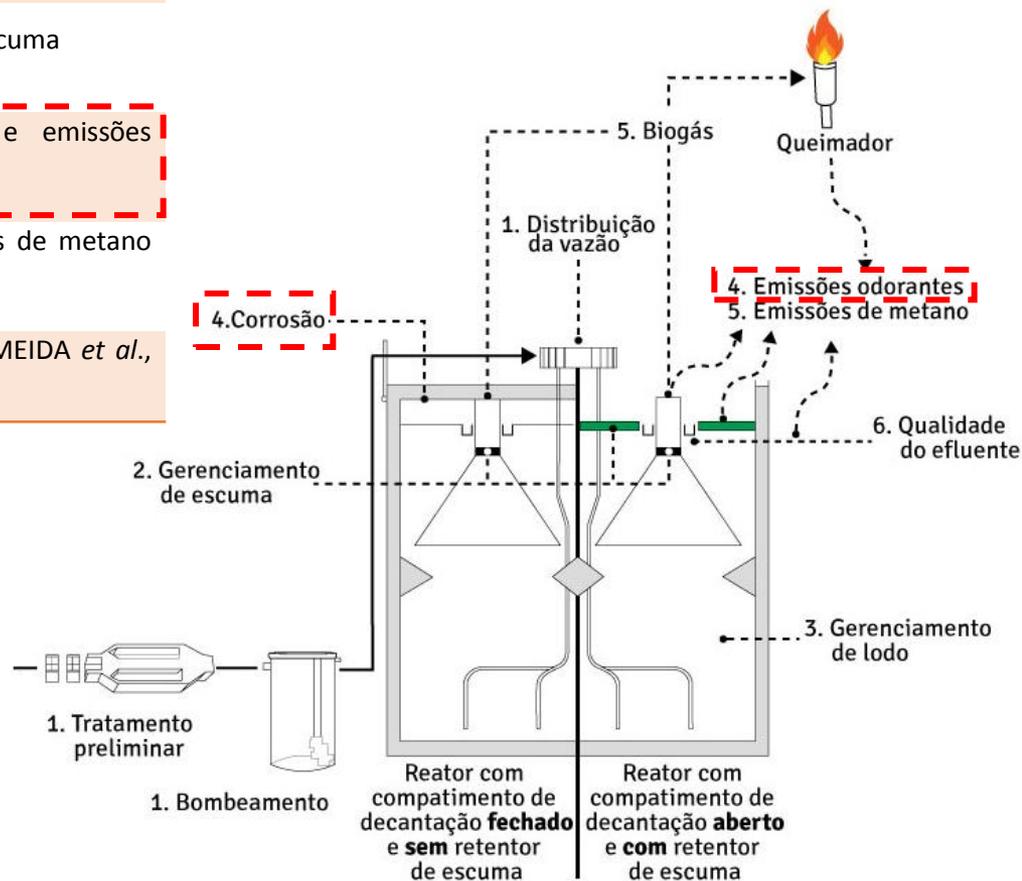
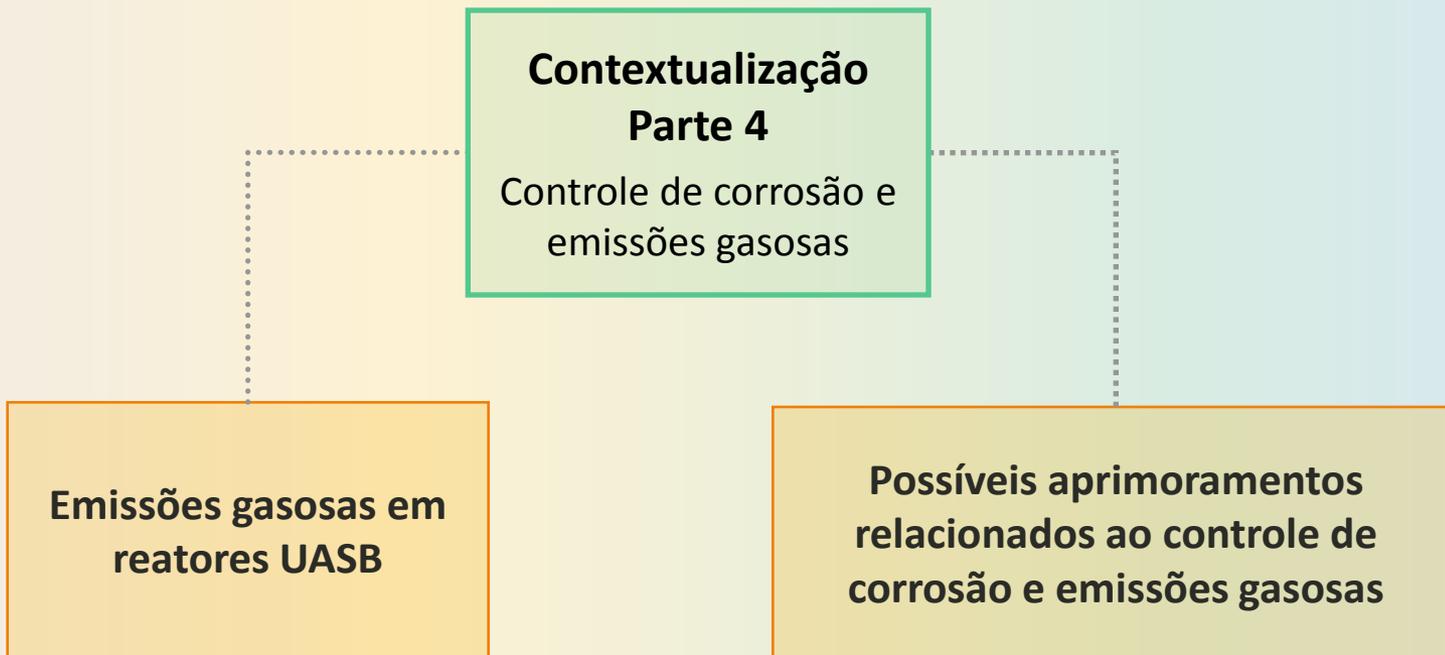


Figura 1 - Tópicos de interesse para o aprimoramento de reatores UASB





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

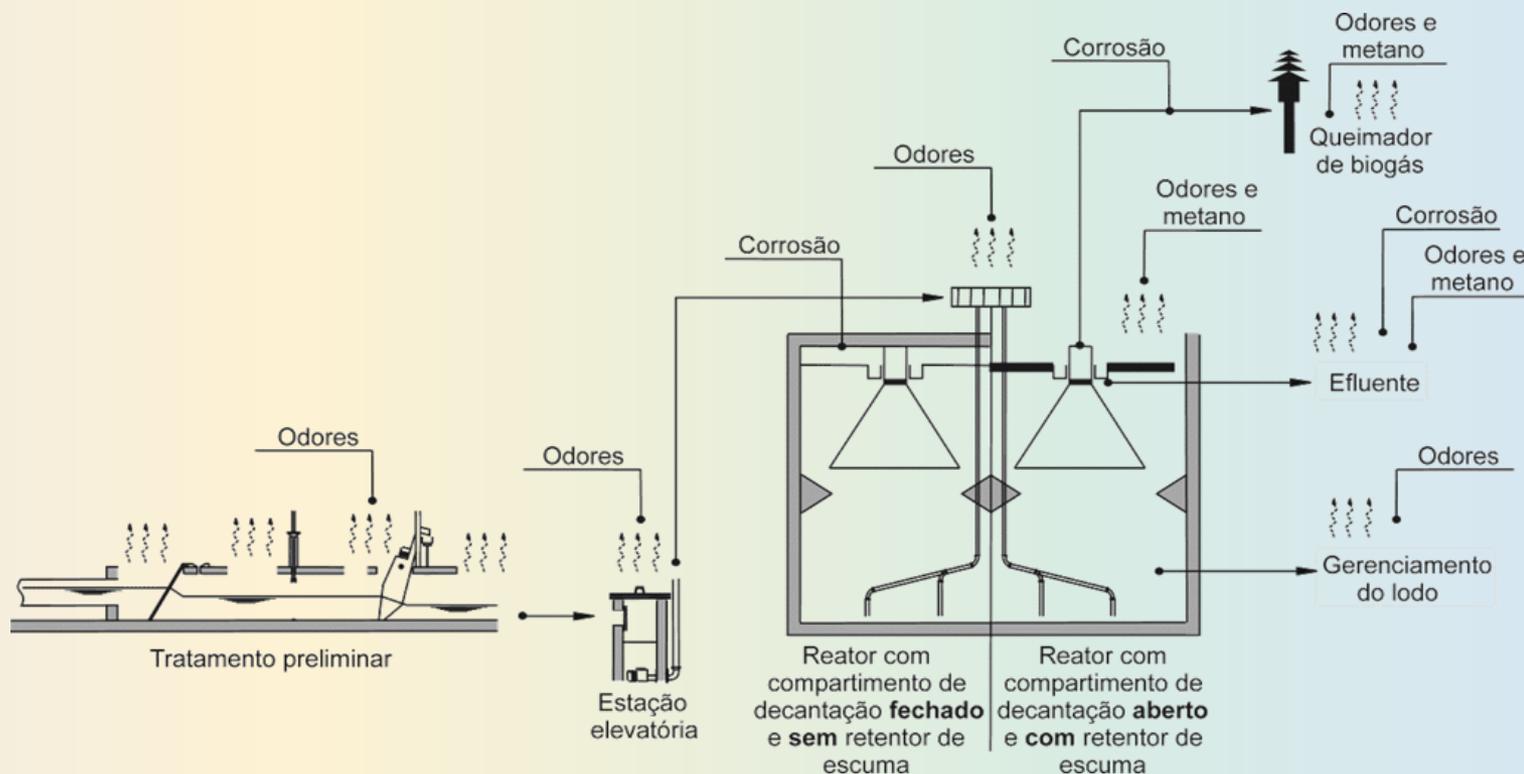


Figura 1 –Emissões gasosas fugitivas nas diversas etapas de uma ETE, com destaque para os reatores UASB.



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.

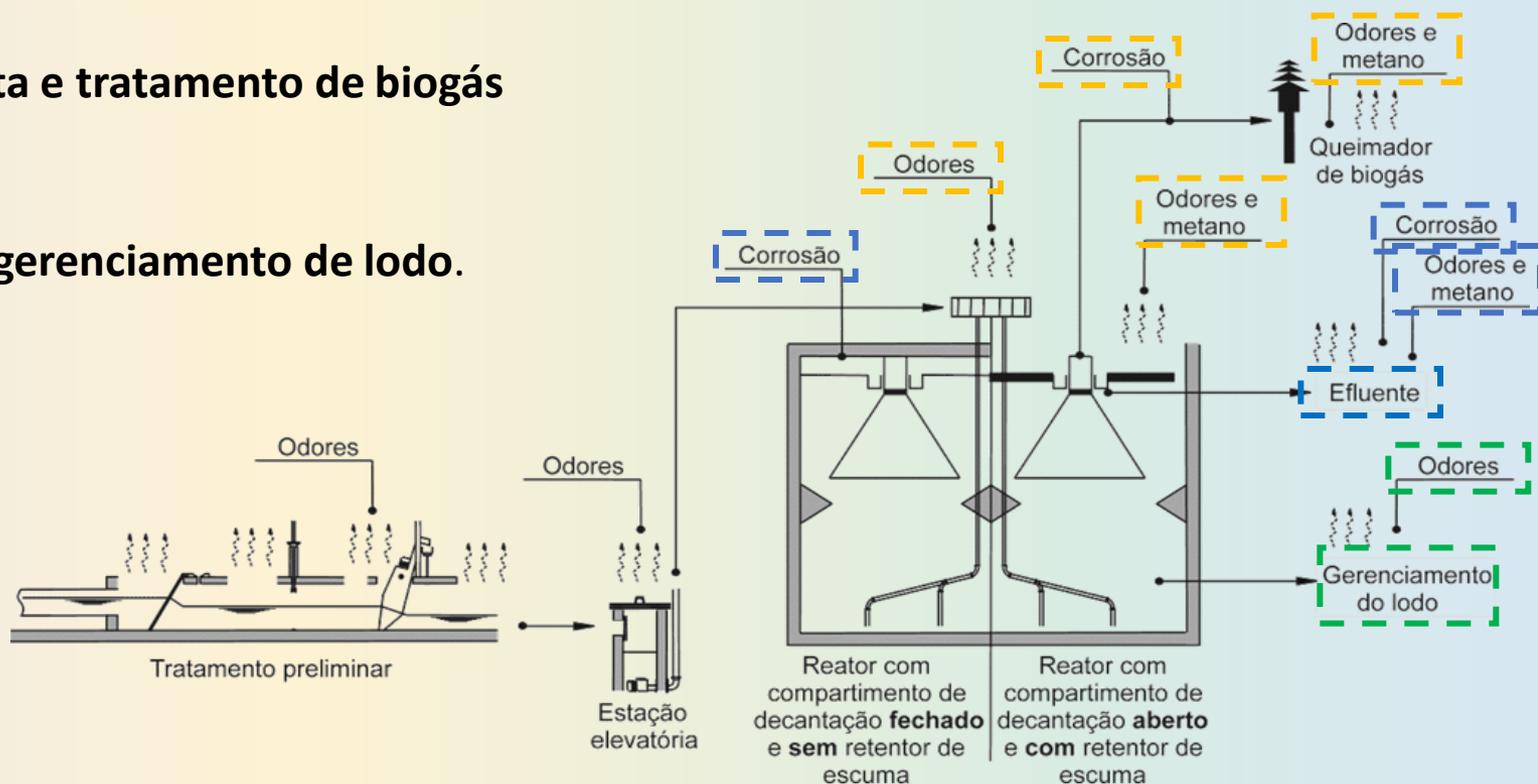


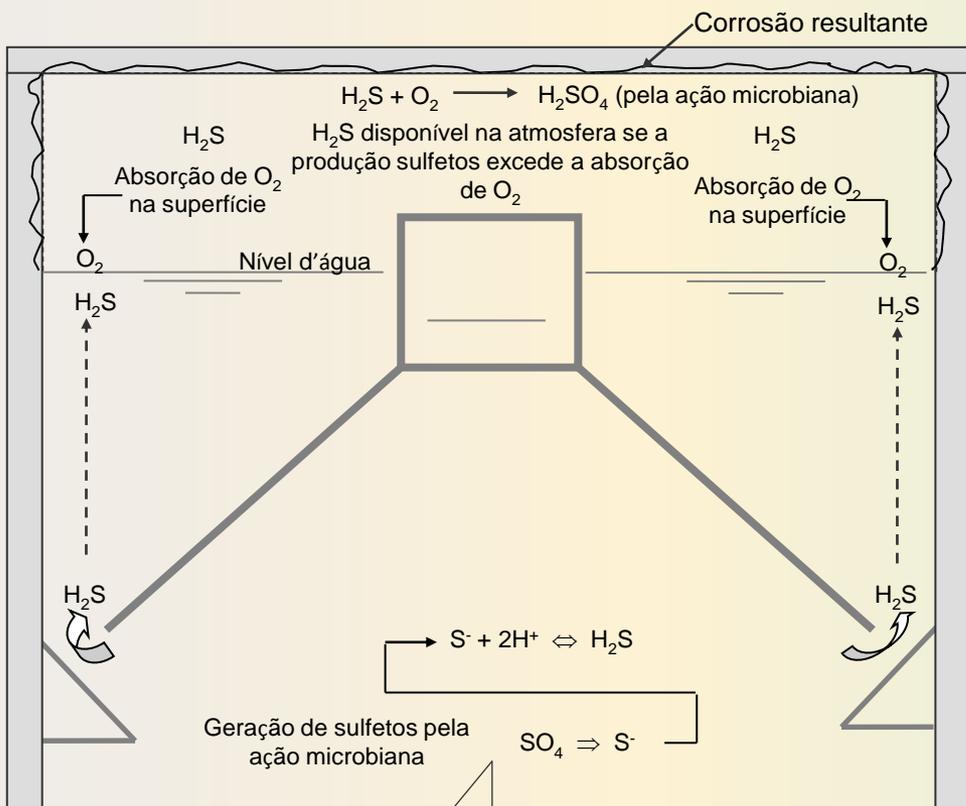
Figura 1 –Emissões gasosas fugitivas nas diversas etapas de uma ETE, com destaque para os reatores UASB.



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_2S → Limiar de detecção humano variando entre 0,47 ppb_v (0,00047 ppm_v) e 100 ppb_v (0,1 ppm_v)

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**



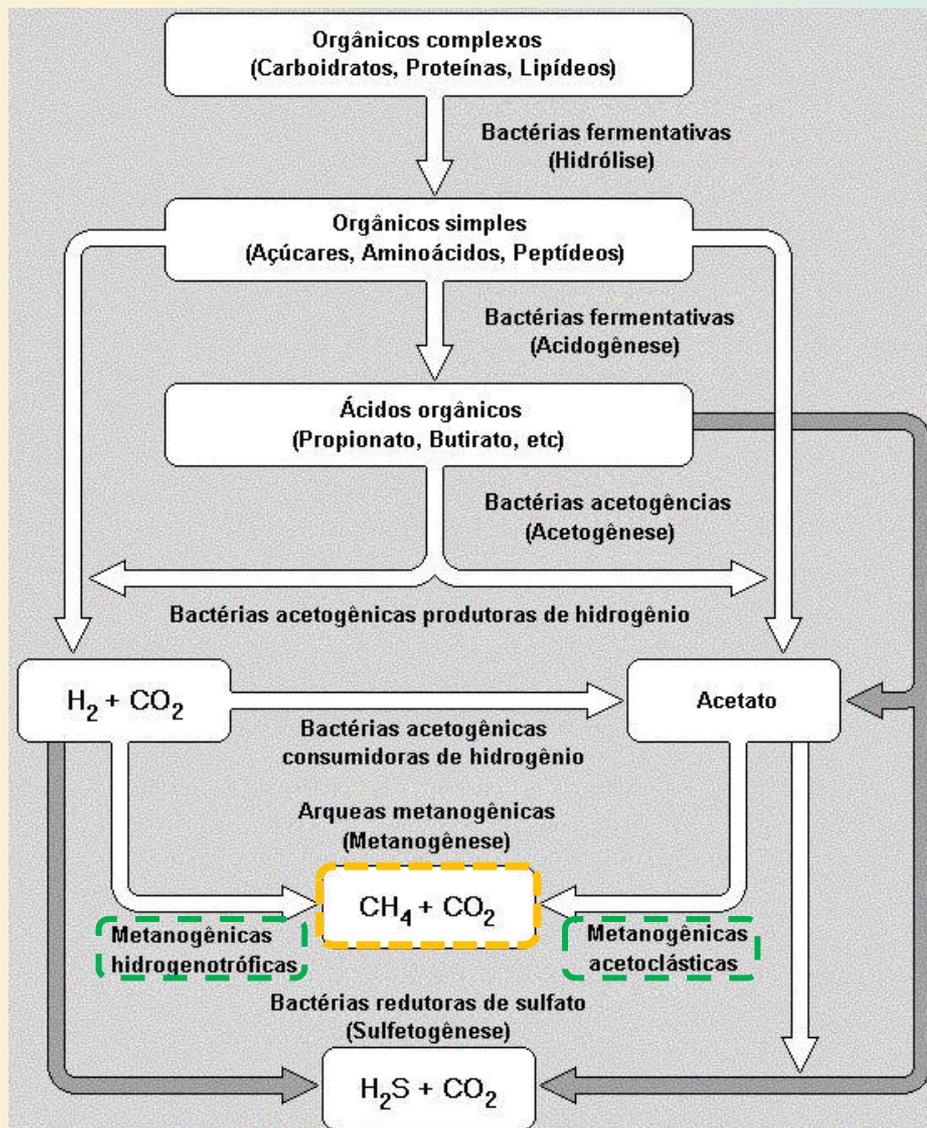
Limite de tolerância de 8 ppm para jornadas de trabalho de até 48 h por semana

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



Origem e problemas relacionados às emissões gasosas

Formação de CH₄





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

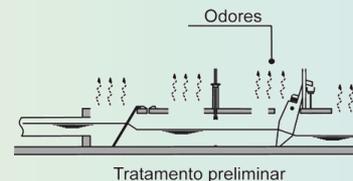
Tratamento **após a geração** dos gases odorantes, sendo, contudo, um método de controle que demanda **investimentos financeiros** significativamente **maiores**



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**

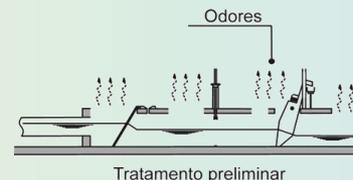




Controle preventivo das emissões gasosas

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

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



Possíveis aprimoramentos:

Operação

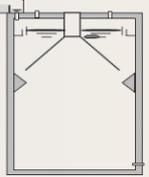


- **Gerenciamento** adequado dos **resíduos** do preliminar
- **Adição de ar e/ou agentes químicos** na rede coletora, em estações elevatórias e no tratamento preliminar
 - ✓ Reações de oxidação do sulfeto: H_2O_2 , Cl_2 , $NaOCl$, $KMnO_4$, $NaMnO_4$
 - ✓ Reações de ionização do sulfeto: $Mg(OH)_2$, $NaOH$
 - ✓ 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

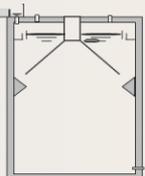


- Dispositivo para **evitar o acúmulo de espuma** dentro dos separadores trifásicos dos reatores UASB
- Projeto de reatores UASB com **decantadores estanques a gases**
- **Evitar quedas hidráulicas** na coleta e condução do efluente tratado



Controle preventivo das emissões gasosas

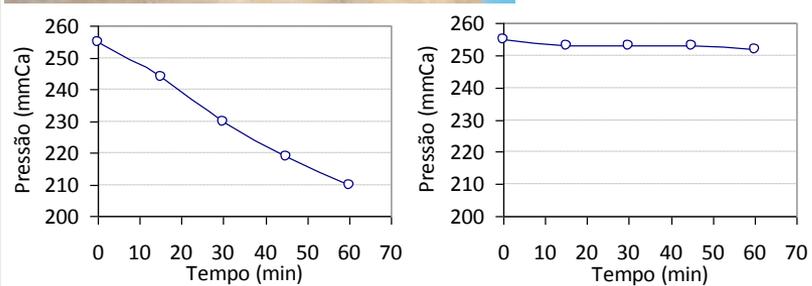
Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar



- 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



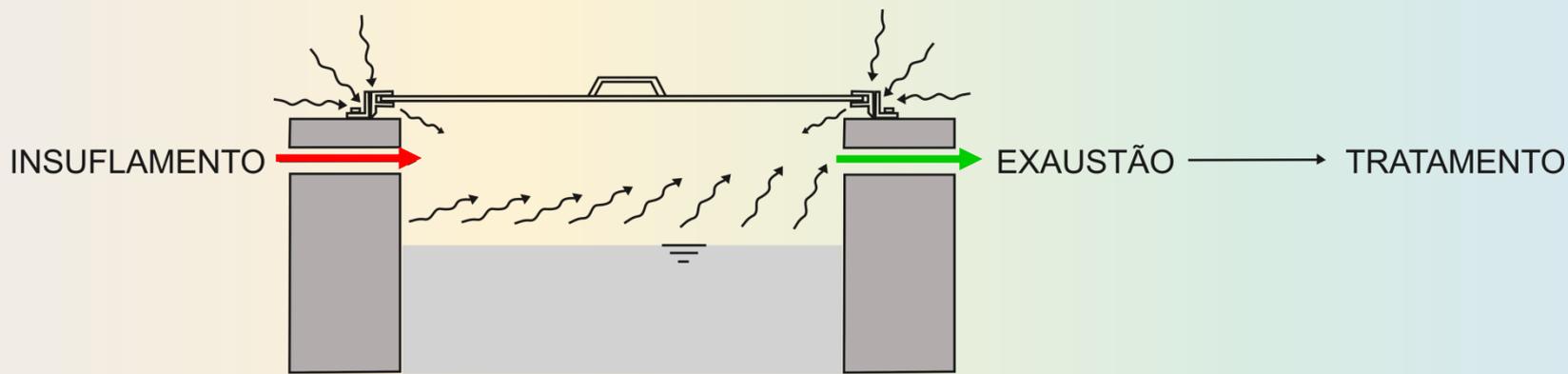


Controle corretivo das emissões gasosas

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 CH_4 e do H_2S**





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

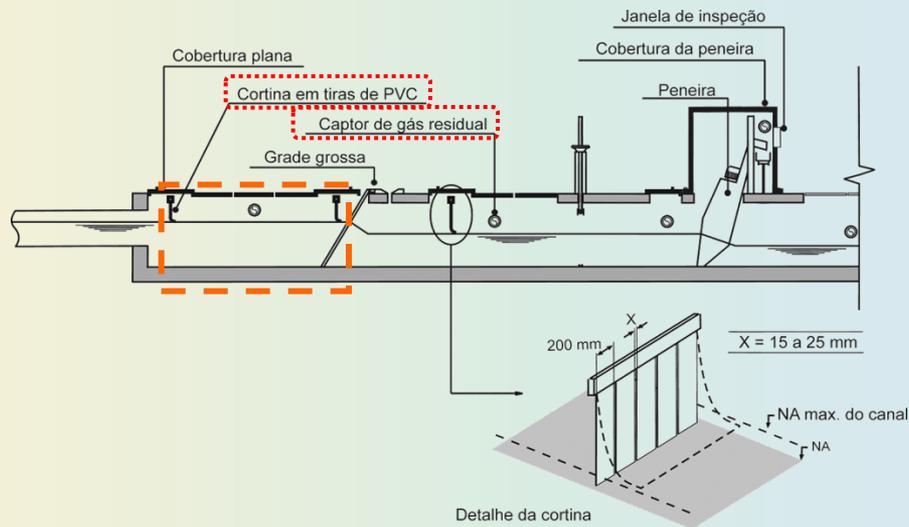
✓ Construção de um galpão que confine todo o TP

- 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

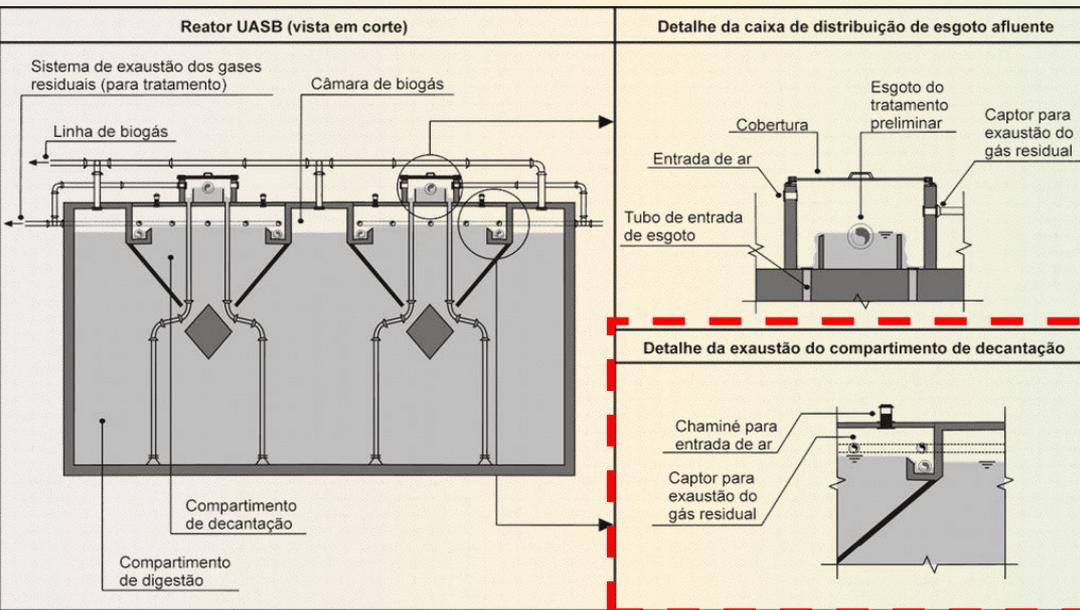
- Emissões fugitivas nos reatores UASB

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



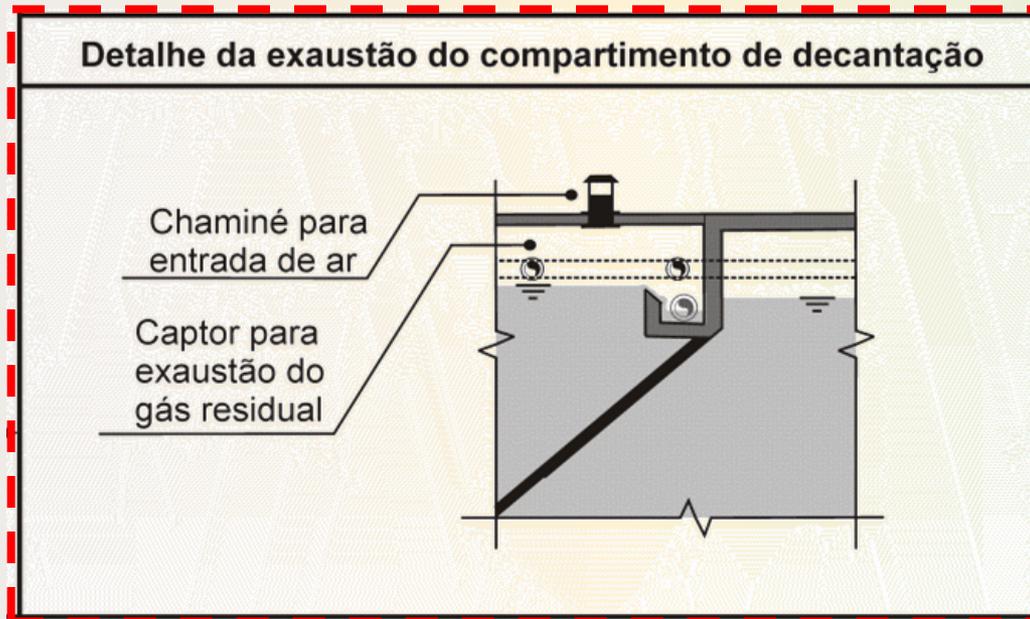


Controle corretivo das emissões gasosas

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

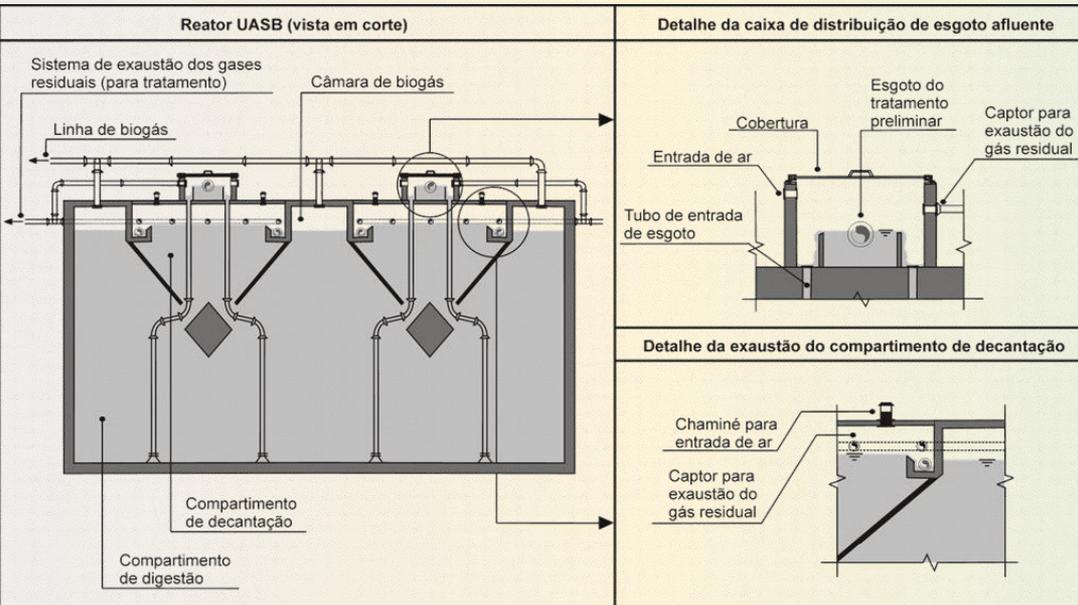


Controle corretivo das emissões gasosas

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:

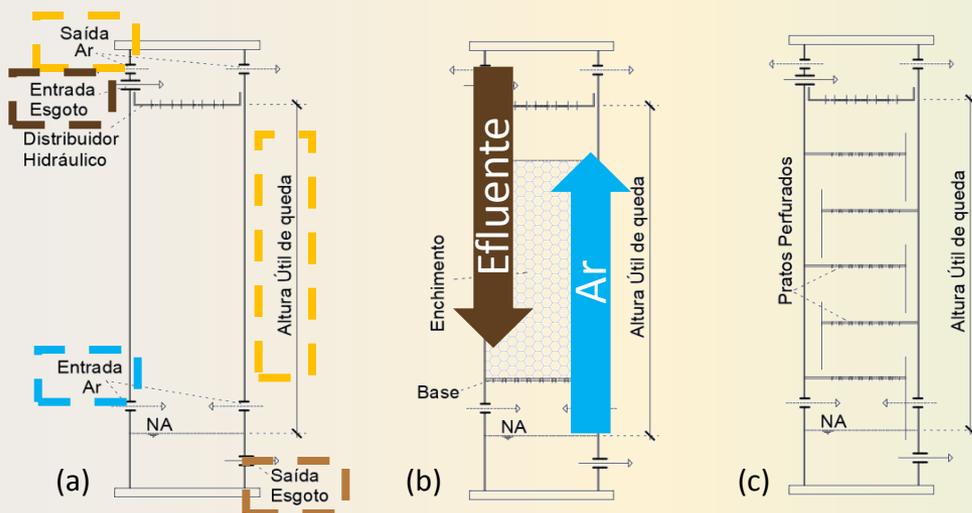
Dessorção dos gases dissolvidos em efluentes de reatores UASB

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

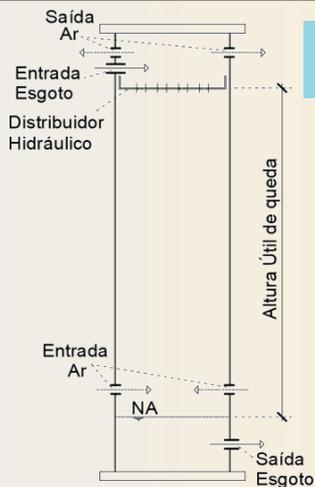




Controle corretivo das emissões gasosas

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).

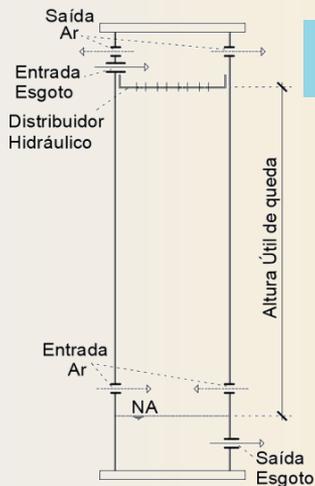


Controle corretivo das emissões gasosas

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

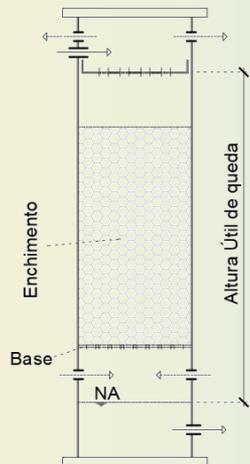
Possíveis aprimoramentos:

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 ^(d)	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:

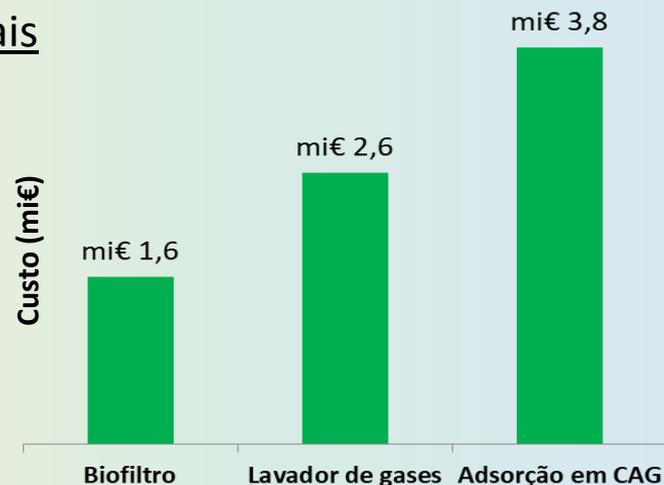
- Absorção físico-química
- Adsorção
- Biofiltração



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

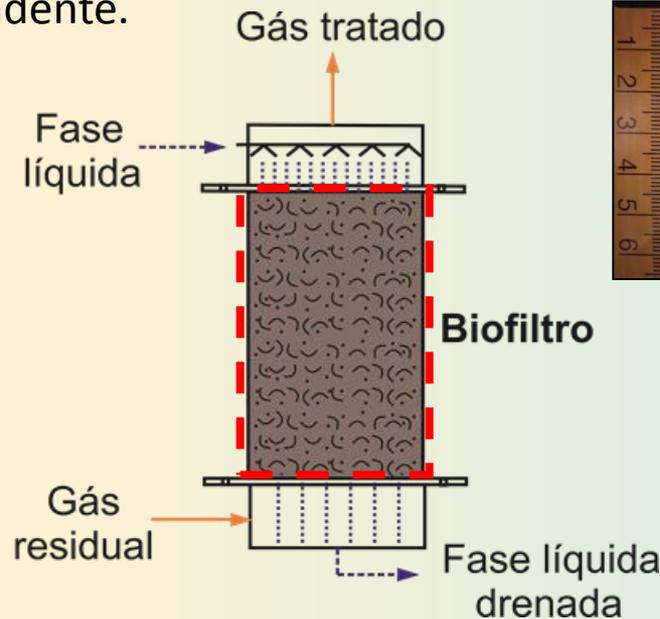
Principais **problemas**: corrosão, odores e impactos sobre o bem estar

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**





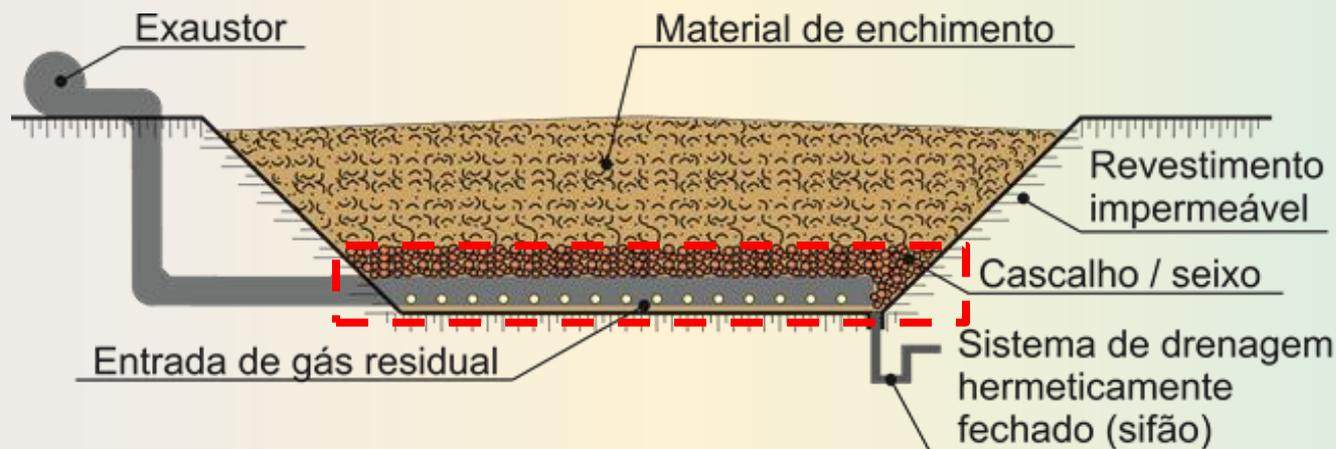
Controle corretivo das emissões gasosas

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)



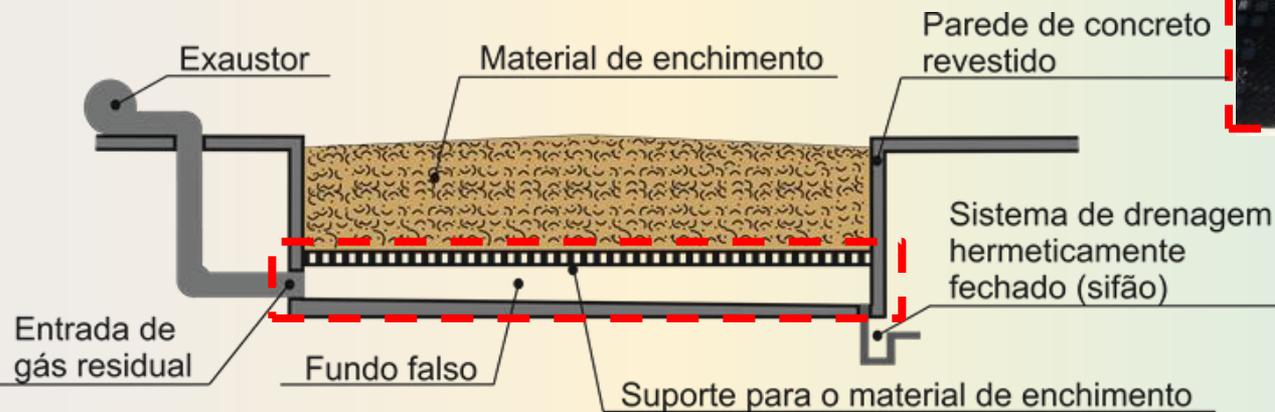


Controle corretivo das emissões gasosas

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

Possíveis aprimoramentos: Tratamento dos gases residuais

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



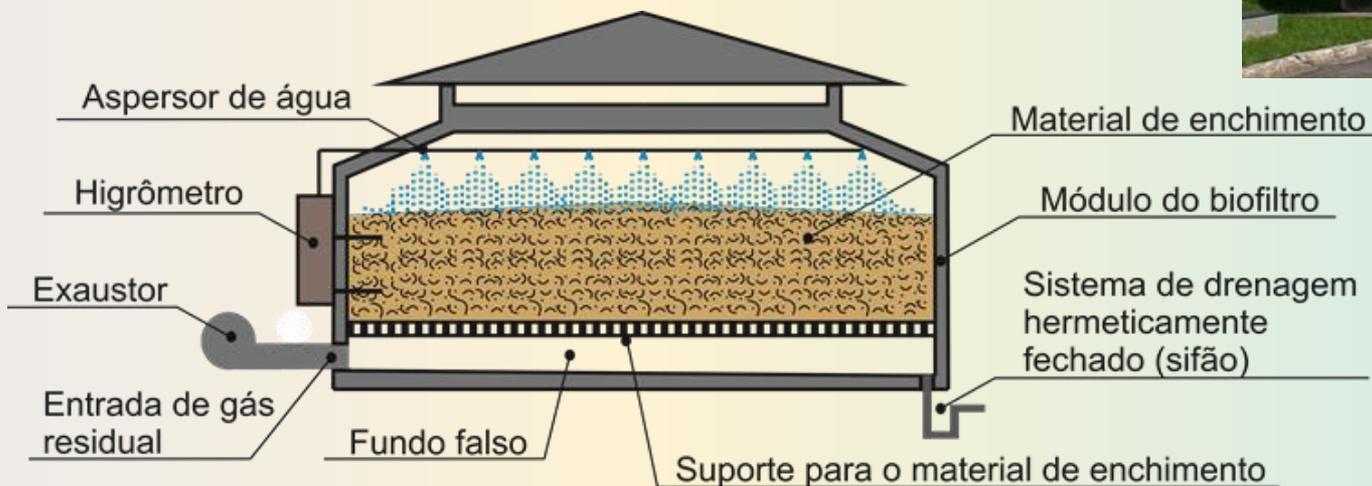


Controle corretivo das emissões gasosas

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 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 **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 políbrid

Aplicação de PRFV





Controle corretivo das emissões gasosas

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

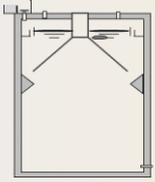
Possíveis aprimoramentos:

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

