

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
TECNOLOGIA AMBIENTAL**

MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO

**CONTROLE DAS EMISSÕES GASOSAS EM
UNIDADES ANAERÓBIAS DE TRATAMENTO DE
ESGOTOS A PARTIR DE PROCESSOS
BIOLÓGICOS**

Renata Luiza Rojo

**Belo Horizonte
2011**

Renata Luiza Rojo

**CONTROLE DAS EMISSÕES GASOSAS EM UNIDADES
ANAERÓBIAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS A PARTIR
DE PROCESSOS BIOLÓGICOS**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia Sanitária e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia Sanitária e Tecnologia Ambiental.

Área de concentração: Saneamento Básico (Engenharia Sanitária e Tecnologia Ambiental)

Orientador: Carlos Augusto de Lemos Chernicharo

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2011

AGRADECIMENTOS

A minha irmã Joana pela força e principalmente auxilia com pesquisas e tradução de textos. Ao meu noivo Bruno pelo apoio e paciência. Ao meu orientador, Professor Carlos Chernicharo pelo auxílio e acompanhamento.

RESUMO

O presente trabalho acadêmico busca consolidar as tecnologias já desenvolvidas para controle das emissões de odores das estações de tratamento de esgotos sanitários a partir de processos biológicos. A princípio apresenta-se a origem dos compostos potencialmente odoríferos e seus efeitos sobre a saúde humana. Em seguida uma descrição dos processos biológicos capazes de converter esses compostos em outros inodoros e não prejudiciais constitui uma base para o entendimento das tecnologias aplicadas à remoção de odores provenientes do tratamento do esgoto.

Para isso, são descritas as metodologias aplicadas em cada tecnologia, assim como os critérios de projeto, operação, manutenção e até os resultados já obtidos em pesquisas.

Por fim uma análise comparativa entre as tecnologias existentes através de vantagens e desvantagens associadas a sua melhor aplicabilidade resultam numa conclusão do trabalho visando o direcionamento da seleção da opção mais apropriada para cada caso especificamente.

ABSTRACT

The actual academic work looks to consolidate technology that has already been developed for sewage treatment plant emission control and the biochemical processes. At first, the potentially odorous compound origins and its effects are shown on human health. Next, a description about the biochemical processes, which can convert those compounds into odorless and not harmful ones, is a base for the understanding of the technology applied on odor removal from sewage treatment.

For this, the applied methodologies are described in each technology, as well as the project criteria, operation, support, and even the results already obtained from research.

Finally, a comparative analysis between the existing technologies through advantages and disadvantages, associated with its best applicability, results in a work conclusion in order to direct the most appropriated option selected for each specific case.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	IX
1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL.....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 ODORES – ORIGEM E EFEITOS.....	12
3.2.1 COMPOSTOS BIOLÓGICAMENTE DEGRADÁVEIS.....	17
3.2.2 FATORES A SEREM CONSIDERADOS NA APLICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE CONTROLE DE ODORES.....	17
TRANSFERÊNCIA DE MASSA.....	17
4. TECNOLOGIAS BIOLÓGICAS PARA REMOÇÃO DE ODORES PROVENIENTES DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS.....	19
4.1 BIOFILTROS.....	19
4.1.1 DUTO DE AR E SISTEMA DE VENTILAÇÃO.....	22
4.1.2 EXAUSTORES	22
4.1.3 CÂMARA DE ENTRADA.....	23
4.1.4 TUBULAÇÃO DE DRENAGEM DE FUNDO.....	24
4.1.5 ESTRUTURA DE APOIO DO MEIO SUPORTE.....	24
4.1.6 ZONAS ÁCIDAS E NEUTRAS	25
Cotrole do pH.....	26
4.1.7 MEIO BIOLÓGICO DO FILTRO	26
MECANISMOS DE REMOÇÃO DO ODOR	26
TEMPO DE CONTATO COM O MEIO.....	26
MEIO SUPORTE DE TERRA.....	27
MEIO SUPORTE ORGÂNICO.....	27
VIDA ÚTIL DO MEIO SUPORTE.....	28
Remoção do meio.....	28
Disposição do meio suporte invalidado	29
4.1.8 IRRIGAÇÃO E UMIDIFICAÇÃO.....	29
4.1.9 CONTROLE DE NUTRIENTES.....	30
4.1.10 INSTRUMENTAÇÃO E MONITORAMENTO	30
4.1.11 CURTO CIRCUITO	30
4.1.12 GEOMEMBRANAS	31
4.1.13 CONTROLE DA VEGETAÇÃO.....	31
4.2 BIOLAVADOR.....	32
4.3 BIOFILTRO PERCOLADOR.....	33
4.4 BACIA DE AREAÇÃO.....	35
4.5 RECIRCULAÇÃO DE LODOS ATIVADOS.....	36
5. CONCLUSÃO.....	38
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de um tubo coletor de esgoto e as transformações dos compostos de	14
Figura 2 – Esquema de um biofiltro não estruturado e com câmara preenchida.	20
Figura 3 – Esquema de um biofiltro estruturado e com câmara de entrada aberta.....	20
Figura 4 – Esquema geral de um biofiltro pré-fabricado.	21
Figura 5 – Biofiltro pré-fabricado. Fonte: www.prunner.com.br	21
Figura 6 – Esquema da forma adequada de perfuração da tubulação de entrada do biogás.	23
Figura 7 – Esquema da instalação das geomembranas para redução dos curto circuitos.....	31
Figura 8 – Esquema de um biolavador de gases.....	32
Figura 9 – Lavador de gases. Fonte: www.prunner.com.br	33
Figura 10 – Esquema de um biofiltro percolador.	34
Figura 11 – Biofiltro percolador. Fonte: www.prunner.com.br	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Concentrações de H ₂ S e NH ₃ nas estações de tratamento de esgoto sanitário.....	12
Tabela 3.2 – Composição característica do biogás.....	13
Tabela 3.3 - Principais compostos odorantes e suas características, encontrados em estações de tratamento de águas residuária.....	15
Tabela 3.4 – Velocidade de biodegradabilidade de compostos voláteis.....	18

LISTA DE ABREVIATURAS

ETE - Estação de Tratamento de Esgotos

UASB – Upflow anaerobic sludge blanket (reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo)

VOC – Volatile Organic Compounds (compostos voláteis orgânicos)

1. INTRODUÇÃO

Apesar da conscientização da população sobre a necessidade do tratamento das águas residuais antes do seu lançamento nos corpos d'água, há ainda uma forte resistência no que se refere à implantação de estações de tratamento de esgotos em regiões urbanizadas em decorrência principalmente dos odores gerados em função dos gases emitidos para a atmosfera, o que se acentua bastante quando há processo de tratamento anaeróbio.

Há alguns anos o controle desses odores tem sido desenvolvido a partir de processos químicos ou físicos, adsorção, incineração, diluição ou dispersão. Atualmente o controle de odores através de processos biológicos tem se tornado uma alternativa mais interessante, principalmente quando se trata de esgotos convencionais ou domésticos.

O tratamento de esgotos em geral ocorre através de processos biológicos de degradação da matéria orgânica por microorganismos. A maioria dos odores são produzidos em processos biológicos anaeróbios, principalmente o H_2S e o NH_3 .

Da mesma forma, para esgotos convencionais domésticos ou compostos por matéria orgânica, a remoção de gases por métodos biológicos apresenta-se, portanto mais adequado, do ponto de vista da continuidade do processo. Já nos casos em que há despejos industriais no esgoto, com presença de substâncias químicas específicas, o tipo de processo a ser implantado para controle do odor deve ser determinado em função do tipo de substâncias presentes no gás emitido.

Os purificadores químicos e a adsorção através de carvão ativado são processos eficientes na remoção de gases odorantes, entretanto, além da necessidade de uma operação mais complexa, há geração de resíduos muitas vezes perigosos ou tóxicos e conseqüentemente uma segunda etapa do processo que seria a gestão desses resíduos, como transporte, disposição, tratamento ou reaproveitamento. Por oxidação térmica, a retirada do H_2S presente no gás residual requer uso do metano como combustível, e no caso dos queimadores convencionais abertos, pode ocorrer combustão incompleta do H_2S e por isso ineficiência no controle do odor. (Chernicharo, 2010).

Os resultados de experiências, desenvolvimento e implantação de tecnologias para controle do odor, baseadas em processos biológicos indicam eficiência e sucesso dessa alternativa. Ao se optar por um processo biológico, com manutenção das condições propícias aos microorganismos, o controle operacional torna-se mais simples, pois por natureza não envolve adição de substâncias químicas, apenas água e em alguns casos nutrientes. Dessa forma, não há geração de subprodutos tóxicos ao ser humano já que os mesmos afetariam os microorganismos envolvidos no processo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os processos biológicos de remoção do gás residual desprendido em unidades de tratamento de esgotos e analisar as tecnologias existentes para determinação das vantagens e desvantagens entre elas e sua melhor aplicabilidade para cada contexto.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1- Apresentação do problema, avaliando os efeitos e conseqüências da emissão de gases odoríferos provenientes de ETEs sobre a população.
- 2- Abordagem da origem dos gases residuais enfatizando os processos de formação e desprendimento dos mesmos.
- 3- Apresentação das tecnologias existentes para tratamento dos gases residuais a partir de processos biológicos.
- 4- Avaliação da eficiência e aplicabilidade das tecnologias apresentadas a partir da definição das vantagens e desvantagens de cada uma, propondo a adoção de critérios para seleção da tecnologia mais adequada para cada caso específico.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ODORES – ORIGEM E EFEITOS

Tratando-se de esgotos sanitários os odores são causados por gases produzidos durante a decomposição da matéria orgânica presente. Entretanto o esgoto bruto apresenta odor menos incômodo em relação ao esgoto tratado por processos anaeróbios, onde a principal substância odorante produzida pelas bactérias anaeróbias é o H₂S (gás sulfídrico), um gás incolor, inflamável e com característico odor de ovo podre. A formação de compostos odoríferos pode ocorrer durante o transporte dos afluentes ou mesmo na ETE, sendo potencializada pelo aumento da temperatura, presença de cargas orgânicas elevadas e de compostos químicos reduzidos, que conduzem à diminuição do oxigênio dissolvido e contribuem para a criação de condições de anaerobiose. Tipicamente, o problema de odor é pior em períodos quentes e secos, onde o fluxo de ar é baixo e os tempos de detenção são maiores. Caixas de areia e desarenadores também são passíveis de liberação de mau cheiro, devido à presença de matéria orgânica adsorvida nas paredes da areia a ser removida. Unidades com degraus ou afunilamentos profundos ocasionam turbulências e com isso desprendimento de gases dissolvidos no líquido gerando odor. Mas dentre as etapas de tratamento de esgotos, o processo anaeróbio, geralmente constituído por reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB), é um dos principais responsáveis pela emissão de odores, dentre outras como àquelas destinadas ao tratamento de lodos, liberando gases compostos por várias substâncias odoríferas, o gás residual, dentre as quais o sulfeto de hidrogênio (H₂S) e a amônia (NH₃) se destacam quanto à perceptividade do olfato humano. A tabela 3.1 apresenta as concentrações médias de H₂S e NH₃ em vários pontos do tratamento de esgoto.

Tabela 3.1 – Faixas usuais de concentrações de H₂S e NH₃ nas estações de tratamento de esgoto sanitário.

Pontos na ETE	Concentrações médias (mg/m³)	
	H ₂ S	NH ₃
Estação Elevatória	4,80	0,25
Unidades de Pré-Tratamento	3,50	0,50
Decantador	0,50	0,07
Sistema de Lodos Ativados	0,40	0,07
Espessador de Lodo	9,80	0,80
Sistema de Desidratação de Lodo	6,50	0,85
Sistema de Disposição Final de Lodo	0,40	7,00

Fonte: Bonnin et al.1993 apud Belli Filho et al., 2001.

A partir dos valores apresentados para as concentrações médias, percebe-se a predominância do H₂S na maioria das unidades da ETE, principalmente naquelas confinadas com processo de tratamento anaeróbio.

A tabela 3.2 apresenta a composição do biogás produzido em reatores UASB.

Tabela 3.2 – Composição característica do biogás em Reatores UASB.

Constituinte	Concentração típica (%)	
	ASCE e WEF (1995)	Chernicharo (1997)
Metano	55-75%	62 a 80%
Gás carbônico	25-45%	30 a 38%
Nitrogênio	2-6%	0,05 a 1%
Oxigênio	-----	0,022%
Hidrogênio	0,1-2%	< 0,01%
Sulfeto hidrogênio	0,01-1%	-----
Vapor d'água	-----	saturação

Fonte: Boldrini, Marjorye (2008).

Observa-se que a maior parte do biogás é composto por metano e gás carbônico, a partir da concentração típica apresentada na tabela, entretanto esses gases são coletados e geralmente tratados por um queimador de gás.

Além do H₂S, alguns compostos odoríferos podem ser associados ao esgoto, como as aminas, amônia, diaminas, mecaptanas, sulfetos orgânicos, escatol, entre outros. Entretanto, o H₂S recebe maior ênfase para tratamento devido à sua rápida percepção ao olfato humano em baixas concentrações. Em muitos casos, o odor despreendido nas unidades que compõem o sistema de tratamento de esgotos tem, na verdade, origem ainda na rede coletora e, dessa maneira, é inconvenientemente atribuído à falta de cuidados na operação, no controle e na manutenção destas estações e, até mesmo, ao tipo de processo de tratamento utilizado. Mesmo que a solução de esgoto contenha oxigênio, os sulfetos são formados nos lodos existentes na parte submersa deste. Para que ocorra essa reação, é necessário que não exista oxigênio disponível no lodo orgânico. Para evitar a formação de compostos odoríferos nas tubulações de coleta e transporte de esgoto, portanto, é necessário fornecer uma condição aeróbia nas regiões onde há acúmulo de lodos, pois dessa forma os compostos presentes no fluxo de esgoto serão oxidados. Isso pode ser efetuado com injeção de ar ou outro tipo de ventilação em pontos estratégicos da rede. O processo de produção de H₂S está esquematizado na Figura 1, a seguir.

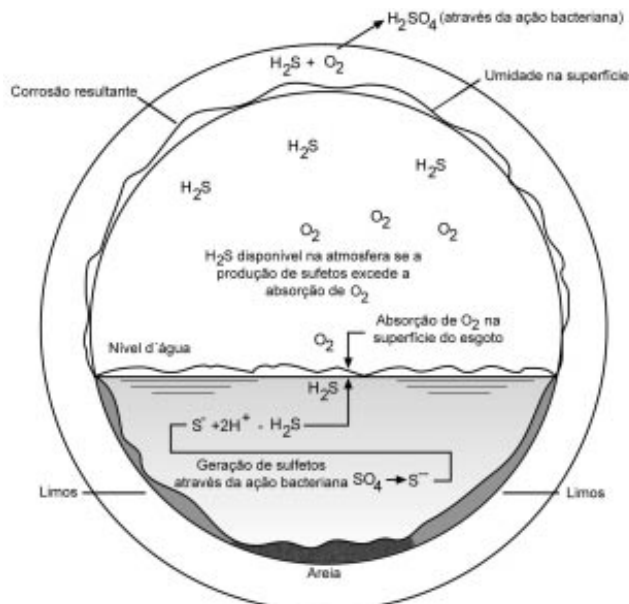


Figura 1: Esquema de um tubo coletor de esgoto e as transformações dos compostos de enxofre e detalhes da “corrosão microbiológica”.

Segundo Ribeiro (2003), os indivíduos em geral exibem uma grande variação estatística na sensibilidade fisiológica perante os odores, sendo que algumas pessoas são pelo menos 100 (não raro 1000 vezes) mais sensíveis que outras.

É importante salientar o efeito dos odores na saúde das pessoas. Em baixas concentrações geram tensão psicológica, e em maiores concentrações podem acarretar outros danos como a falta de apetite, náuseas, vômitos e até perturbação mental, sendo que concentrações diferentes causam esses efeitos de forma diversa em cada indivíduo, em função da sua sensibilidade e percepção olfativa. Do ponto de vista econômico, a região afetada pelo odor fica bastante prejudicada levando-se em consideração o desencorajamento de investimento de capital e conseqüentemente desvalorização imobiliária.

A tabela 3.3, a seguir, apresenta os diferentes compostos emissores de odor que podem ser encontrados nas ETEs, a associação com odores conhecidos e a concentração média para percepção olfativa humana de forma generalizada.

Tabela 3.3 - Principais compostos odorantes e suas características, encontrados em estações de tratamento de águas residuária.

Nome	Fórmula	Peso Molecular	Característica dos odores	Limite olfativo mg/m ³
Acetaldeído	CH ₃ CHO	44	Maçã	0,04 a 1,8
Ácido acético	CH ₃ COOH	60	Vinagre	0,0025 a 6,5
Ácido butírico	C ₃ H ₇ COOH	88	Manteiga	0,0004 a 3
Ácido valérico	C ₄ H ₉ COOH	102	Suor	0,0008 a 1,3
Amônia	NH ₃	17	Picante e irritante	0,5 a 37
Butanol	C ₃ H ₇ CH ₂ OH	74	-----	0,006 a 0,13
Dietil Sulfeto	(C ₂ H ₅) ₂ S	90,2	Etéreo	0,0045 a 0,31
Dimetil dissulfeto	(CH ₃) ₂ S ₂	94,2	Pútrico	0,003 a 0,0014
Dimetil sulfeto	(CH ₃) ₂ S	62,13	Legumes deteriorados	0,0025 a 0,65
Escatol	C ₉ H ₈ NH	131,5	Fecal, nauseante	0,008 a 0,10
Etanol	CH ₃ CH ₂ OH	46	-----	0,2
Etil amina	C ₂ H ₅ NH ₂	45	Picante amoniacal	0,05 a 0,83
Etil mercaptana	C ₂ H ₅ SH	62	Repolho deteriorado	0,0001 a 0,03
Fenol	C ₆ H ₅ OH	94	-----	0,0002 a 0,004
Indol	C ₈ H ₆ NH	117	Peixe deteriorado	0,0006
Metil amina	CH ₃ NH ₂	31,05	Peixe em decomposição	0,0021
Metil mercaptana	CH ₃ SH	48	Repolho, alho	0,0005 a 0,08
Ácido sulfídrico	H ₂ S	34	Ovo podre	0,0001 a 0,03

Fonte: Belli Filho et al. (2001).

3.2 BIOQUÍMICA DO TRATAMENTO BIOLÓGICO DE ODORES

O gás gerado pela degradação bioquímica nos reatores UASB é composto por substâncias orgânicas e inorgânicas e, por isso, podem ser tratados por microorganismos autotróficos ou heterotróficos.

Os microorganismos heterotróficos (também denominados quimioheterotróficos) são aqueles que assimilam apenas compostos orgânicos (formados por moléculas que contém átomos de carbono), tanto para sua energia como para seu crescimento. No caso das bactérias heterotróficas, a classificação pode ser em bactérias anaeróbias (não precisam de oxigênio para sua síntese) e aeróbias (precisam de oxigênio para seu metabolismo), e as facultativas (conseguem se adaptar a meios com ou sem oxigênio disponível).

Em geral as bactérias heterotróficas são utilizadas no tratamento de gases formados por compostos orgânicos voláteis (VOCs), pois apresentam alta velocidade na quebra de moléculas de carbono. Alguns VOCs podem ser prejudiciais à saúde e potencialmente tóxicos em altas concentrações. Neste caso os biofiltros heterotróficos apresentam-se eficientes em sua remoção.

Para a quebra de largos compostos orgânicos (moléculas formadas por muitos átomos de carbono), as bactérias heterotróficas formam um material pegajoso (denominado *zooglea*) em sua parede celular o que facilita a adesão desses grandes compostos, e com a excreção de enzimas quebram-nos em outros com menores cadeias de carbono, mais solúveis, para que então possam assimilá-los. Esse processo deve ser previsto ao se optar pelo meio filtrante dos biofiltros visto que, com a produção desse material pegajoso em suas paredes celulares, as bactérias tendem a se agruparem, formando flocos que podem causar a colmatação desse meio suporte, e diminuir dessa forma a eficiência do processo.

Já os microorganismos autotróficos (denominados quimioautotróficos), assimilam compostos inorgânicos para sua energia e retiram carbono do dióxido de carbono dissolvido para seu crescimento. Alguns compostos inorgânicos consumidos pelas bactérias autotróficas são constituídos de nitrogênio (amônia), enxofre (gás sulfídrico, sulfetos) e metais (como o ferro). Esses compostos são assimilados e metabolizados no interior das células, que extraem energia e convertem, ou oxidam, os mesmos.

Algumas bactérias são responsáveis pela desnitrificação do esgoto (*Nitrosomonas* produzem nitrito enquanto as *Nitrobacter* produzem nitrato). Já a *Thiobacillus*, a partir do consumo do H_2S produz o H_2SO_4 , substância responsável pela corrosão de superfícies de concreto ou metal das unidades de tratamento de esgoto.

Ao contrário das heterotróficas, as bactérias autotróficas não vivem em grandes colônias e são capazes de assimilar grandes quantidades de compostos inorgânicos em pequeno intervalo de tempo. Portanto as tecnologias de controle de odores utilizam essas bactérias para a remoção de H_2S e NH_3 .

3.2.1 COMPOSTOS BIOLÓGICAMENTE DEGRADÁVEIS

Sob condições adequadas, uma gama enorme de compostos orgânicos podem ser degradados e completamente oxidados, produzindo CO_2 e H_2O como produtos principais. Tais compostos incluem alcanos, aldeídos, álcoois, cetonas, ácidos carboxílicos, ésteres, éteres, alcenos, compostos aromáticos, compostos orgânicos contendo $-NH_2$ (como aminas), $-SH$ (como mercaptanos) e halogênios (van Groenestijn e Hesselink, 1993).

Compostos inorgânicos, como H_2S e NH_3 também podem ser oxidados bioquimicamente, produzindo, respectivamente, sulfato e nitrato como produtos.

Em geral os compostos orgânicos de grande peso molecular são menos solúveis na água se comparados aos compostos inorgânicos, de menor peso molecular. Entretanto, para que a degradação pelos microorganismos seja efetivada é necessário que esses compostos sejam solubilizados.

Segundo Bohn (1992), a purificação biológica dos gases odorantes pode ser dividida em dois processos consecutivos:

- absorção de componentes do gás na água ;
- oxidação biológica das substâncias absorvidas.

Para que isso aconteça, as tecnologias de controle de odor por processos biológicos devem ser desenvolvidas de forma a promover todas as condições propícias para que os microorganismos de interesse se desenvolvam e para que os compostos sejam adequadamente solubilizados para sua degradação.

3.2.2 FATORES A SEREM CONSIDERADOS NA APLICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE CONTROLE DE ODORES

TRANSFERÊNCIA DE MASSA

O sucesso de todas as biotécnicas depende inicialmente na transferência de massa (absorção do gás) e, em seguida, sobre a biodegradação de compostos odoríferos. Portanto, as taxas de transferência de massa interfacial gás / líquido e os coeficientes de difusão do substrato e do oxigênio são muito importantes (van Groenestijn e Hesselink, 1993). A taxa de transferência de

massa gás /líquido pode ser descrita pela seguinte expressão (Van't Riet & Tramper, 1991, apud van Groenestijn e Hesselink, 1993):

$$F = K_l \times a \times \left(\frac{C_g}{H} - C \right)$$

Onde:

F = Taxa de transferência de massa (mol/m³.s)

K_l = coeficiente global de transferência de massa interfacial(m/s)

a = área interfacial por unidade de volume (m²/m³)

C_g = concentração na fase gasosa (mol/m³)

C = concentração na fase líquida(mol/m³)

H = coeficiente de Henry (-)

A partir desta expressão pode-se notar que a transferência de massa depende da configuração do reator e em características físicas e químicas dos gases residuais, com a taxa de absorção sendo dependente do coeficiente de Henry.

BIODEGRADAÇÃO

A taxa de biodegradação de um composto depende do tipo de microrganismos envolvidos, sobre a quantidade e a atividade da biomassa presente no biofiltro. Além dos compostos de carbono para a biomassa e a produção de energia, o oxigênio é necessário como um receptor de elétrons. A maioria dos microrganismos responsáveis pela degradação biológica dos compostos odorantes se desenvolve em pH de 6 a 9. Estes microrganismos atuam principalmente na faixa de temperatura mesofílica e se desenvolvem em temperaturas entre 10 a 65 °C, sendo a condição ótima a 37 °C. A tabela 3.4 apresenta a velocidade de biodegradação de alguns compostos odoríferos.

Tabela 3.4 – Velocidade de biodegradabilidade de compostos voláteis.

Velocidade de biodegradação	Compostos e famílias
Alta	Alcóois, aldeídos, cetonas, ésters, eteres, ácidos orgânicos, aminas, mercaptanas, H ₂ S, NO _x , SO ₂ , HCl, NH ₃ , PH ₃ , SiH ₄ , HF
Baixa	Hidrocarbonetos, fenóis, cloreto de metila
Muito baixa	Hidrocarbonetos halogenados, hidrocarbonetos poliaromáticos, CS ₂

Fonte: BOHN (1993).

4. TECNOLOGIAS BIOLÓGICAS PARA REMOÇÃO DE ODORES PROVENIENTES DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

Existem vários tipos de tecnologias para o tratamento de odores em estações de tratamento de esgotos, ambos apresentam fase gasosa e fase líquida como base metodológica. Algumas tecnologias encontram-se em desenvolvimento para aprimoramento de fatores como eficiência, custo benefício, simplicidade operacional e menor custo de construção e projeto sejam assegurados. Dentre elas, os biofiltros têm sido bastante utilizados com resultados satisfatórios.

4.1 BIOFILTROS

Essa tecnologia tem recebido maior atenção, devido a sua segurança e economia quando adequadamente projetados e instalados. O primeiro biofiltro implantado há aproximadamente 100 anos, na Suíça era um verdadeiro “leito de solo”, onde o gás residuário era forçado através do subsolo até chegar ao solo (WEF, 2004). Nos anos seguintes várias experiências em escala piloto foram efetuadas e desenvolvidas para aprimoramento do sistema. Com isso houveram algumas variações de biofiltros com eficiência comprovada. Recentemente biofiltros com meio suporte orgânico foram muito utilizados na Europa e nos últimos anos nos Estados Unidos em função do baixo custo de manutenção.

Os elementos básicos comuns em biofiltros são os seguintes:

- Duto de ar e sistema de exaustão
- Câmara de entrada
- Dreno de Fundo
- Meio Suporte
- Sistema de Irrigação ou Umidificação

Além desses elementos, eles podem ser equipados com outros sistemas para aprimoramento de operação e monitoramento. Entre eles medidores de umidade, pressão, vazão, controle supervisionado com apresentação de dados. Há algumas variações quanto à sua forma e tipo de projeto desenvolvido de acordo com sua aplicação, localização, requisitos operacionais, tamanho da unidade e até mesmo a composição do gás a ser tratado.

São classificados, portanto em três tipos básicos:

- Biofiltro não estruturado, com câmara de entrada cheia
- Biofiltro estruturado, com câmara de entrada aberta
- Biofiltro Pré-Fabricado

O biofiltro não estruturado, normalmente escavado no solo, consiste de uma exaustão conectada a dutos com terminações em tubulações perfuradas de onde o gás residual é enviado para uma câmara constituída de pedras ou outro material granular sob o meio suporte orgânico, onde é então tratado (Figura 2).

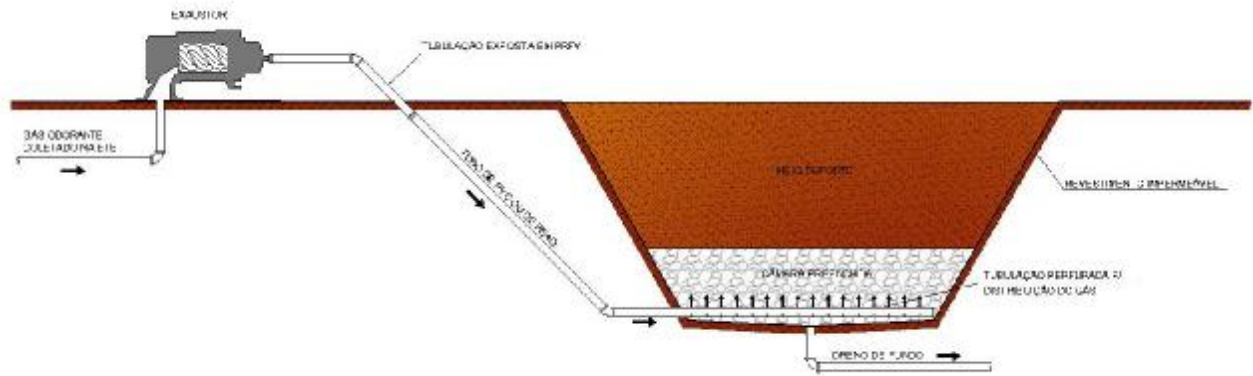


Figura 2 – Esquema de um biofiltro não estruturado e com câmara preenchida.

No biofiltro estruturado, que pode ser enterrado ou apoiado no solo, a mesma rede de tubulações chega a uma câmara, mas neste caso ela é aberta, ou seja, vazia, não há nenhum enchimento com material grosso, e da mesma forma o ar é forçado a passar pelo meio suporte (Figura 3).

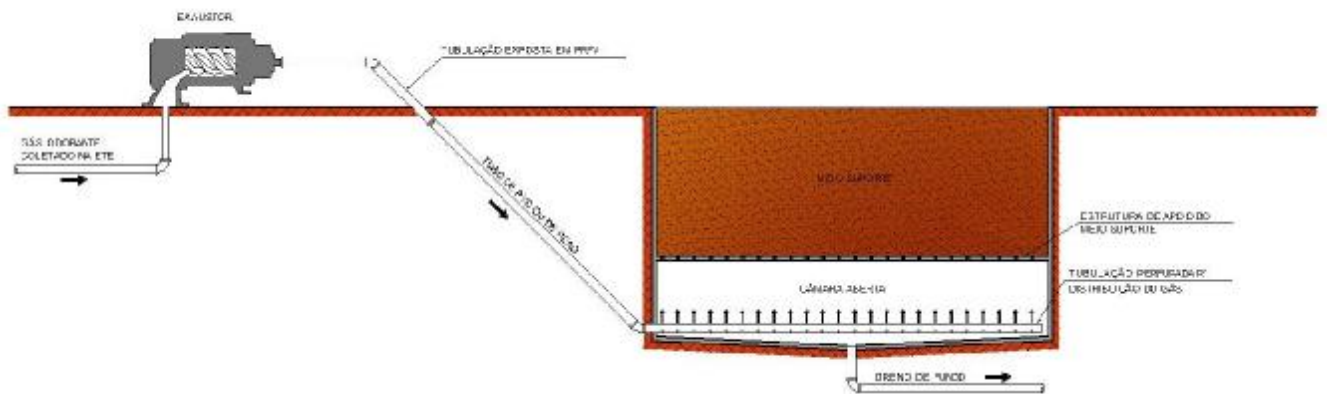


Figura 3 – Esquema de um biofiltro estruturado e com câmara de entrada aberta.

Já nos biofiltros pré-fabricados, o processo é semelhante aos descritos acima, entretanto são comprados para acelerar a instalação, sendo que alguns podem apresentar diferenciados recursos atrativos, como tipo de material utilizado, tipo de meio suporte, forma de operação e dimensões disponíveis. (Figuras 4 e 5).

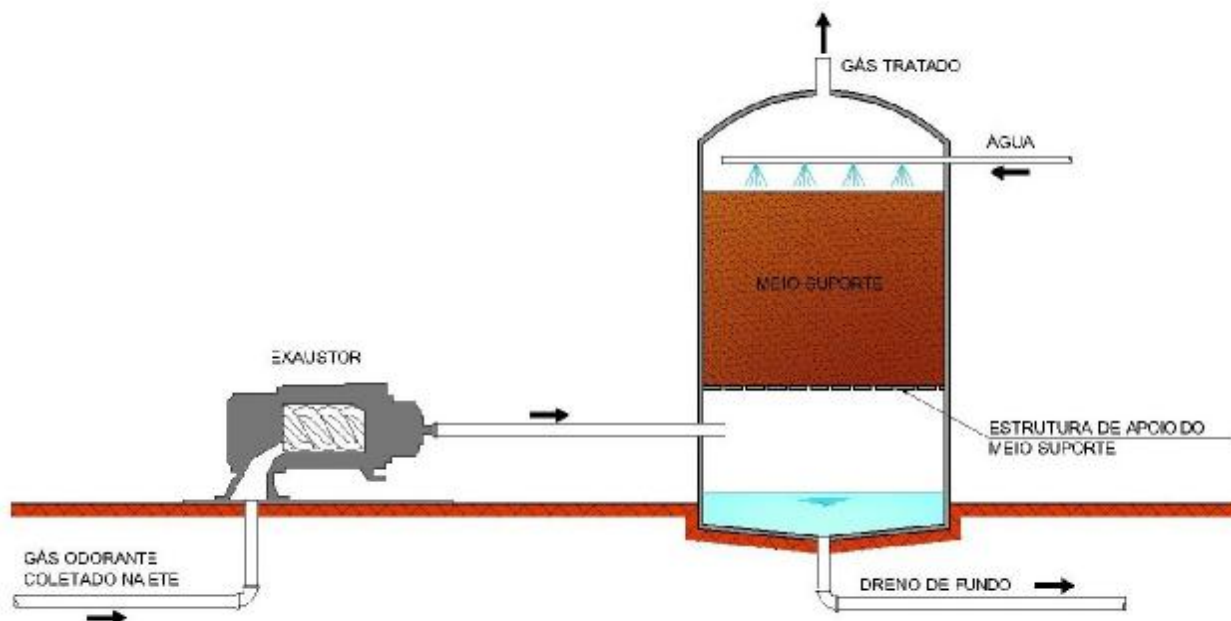


Figura 4 – Esquema geral de um biofiltro pré-fabricado.



Figura 5 – Biofiltro pré-fabricado. Fonte: www.pruner.com.br.

A seguir, entretanto, serão descritos, segundo WEF (2004), os componentes dos biofiltros, suas variações de acordo com a aplicação, e os fatores que influenciam o funcionamento adequado do sistema.

4.1.1 DUTO DE AR E SISTEMA DE VENTILAÇÃO

O fluxo de ar através da tubulação ocorre a partir de princípios mecânicos básicos de exaustão. O diâmetro da canalização deve ser dimensionado adequadamente em função da vazão de gás e das pressões de ar a serem suportadas. Além disso, deve haver cuidado na escolha do material a ser utilizado para as tubulações, pois o H₂S contido no gás residual já sofrerá transformação para ácido sulfúrico dentro da tubulação, portanto um fator importante a ser considerado é o controle de corrosões na tubulação. Deve ser considerado um pH abaixo de 0,5, levando-se em conta inclusive as peças componentes de toda a rede por onde o gás será transportado. Normalmente o gás residual já vem da fonte com umidade relativa alta e temperatura semelhante à do efluente da água residuária de origem. Em alguns casos a parede dos dutos tem temperaturas mais baixas ocasionando a condensação do gás, gerando um líquido que é recolhido à jusante do sistema, através de drenos. É essencial a previsão desse sistema de drenagem ou mesmo descarga desse líquido resultante, normalmente ácido, pois se não removido, o mesmo pode ocupar parte ou mesmo preencher o duto, aumentando assim a perda de carga do gás podendo até interromper o fluxo de gás.

Além disso, os registros de entrada no biofiltro e as conexões necessárias ao longo do duto devem ser bem vedados para que não ocorra vazamento do gás e alteração da pressão interna com liberação de odor. Enfim o material de toda a rede de transporte do gás da fonte até o biofiltro deve ter resistência a uma solução de 10% de ácido sulfúrico. Em geral é recomendável o uso de PVC ou PEAD (polietileno de alta densidade) na tubulação situada abaixo do solo, e PRFV (Fibra de vidro reforçada) ou PP (polipropileno) na tubulação exposta, desenterrada.

Na tubulação exposta, de acordo com WEF, 2004, é importante que a velocidade do gás não ultrapasse 470m/min para evitar ruídos e perda de carga. Já na parte da tubulação enterrada não há preocupação com a geração de ruídos, apenas com a questão da perda de carga.

A chegada da tubulação deve estar na parte inferior do biofiltro para que não ocorra curto-circuitos no fluxo do gás, tendência que acontece devido à diferença entre superfícies lisas e plásticas (dos dutos e no caso de câmara aberta) e meio suporte granulado, com superfície irregular.

4.1.2 EXAUSTORES

Segundo WEF, 2004 é recomendável o uso de bombas centrífugas com impelidores contra inclinados constituídos de fibra de vidro para exaustão do gás residual. Este tipo de bomba produz pressões e fluxos de ar apropriados para o processo. O intervalo de pressões operados variam em geral de 0,12 a 3,0 kPa, intervalo necessário para superação das possíveis perdas de carga no duto e no meio suporte. Para a perda de carga no meio suporte com profundidade de

1,0m considera-se uma variação entre 0,12kPa (quando o biofiltro começa a operar) e 2,50kPa (no final de vida útil). Podem ser utilizadas pressões mais altas quando o meio suporte usado é mais compacto.

Algumas vezes pode haver condensação no exaustor, por isso mesmo, este deve ser equipado com drenos para que prováveis acúmulos de solução ácida para que não danifiquem o equipamento e é necessário a vedação completa do equipamento para que não ocorra liberação de odor.

Recomenda-se a localização do exaustor e seus componentes em uma caixa ou cômodo, protegendo o mesmo das intempéries e melhorando o efeito visual final.

4.1.3 CÂMARA DE ENTRADA

As câmaras de entrada podem ser abertas ou preenchidas com um meio suporte. No caso dos biofiltros não estruturados, a câmara de entrada é preenchida por um meio suporte de granulometria maior com função de apoio para o meio suporte orgânico e de distribuir homogeneamente o gás de entrada. No caso dos biofiltros estruturados, a câmara de entrada é aberta e por isso é necessária uma estrutura para apoiar o meio suporte orgânico de forma que sustente seu peso sem deformações. Esse apoio é construído normalmente em laje de concreto perfurada que deve ter suas superfícies cobertas por um material resistente à corrosão.

Já no caso da câmara de entrada preenchida, a tubulação de PVC perfurada está submersa em um material granulado resistente à acidez do meio. A perfuração deve ser feita à 45° com a vertical, na posição descendente para evitar a obstrução dos furos pelo meio (Figura 6); o tamanho e o espaçamento entre os furos são determinados em função da vazão do gás e da perda de carga necessária.

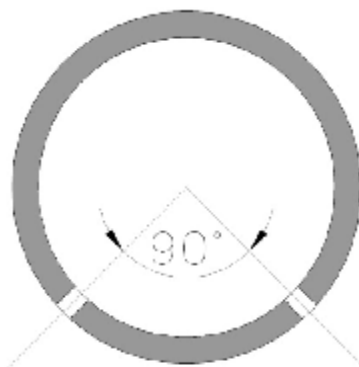


Figura 6 – Esquema da forma adequada de perfuração da tubulação de entrada do biogás.

Ambos tipos de câmara recebem água proveniente do sistema de irrigação ou umidificação e substâncias condensadas dos gases, sendo necessária, portanto a previsão de drenos de fundo, pois o enchimento das câmaras por esse líquido impede o fluxo de gás residual no biofiltro.

A câmara composta por meio suporte granular em pedras propicia a formação bacteriana devido à área superficial disponível, gerando com isso ambiente apropriado para o crescimento da *Thiobacillus*, e conseqüentemente produção de ácido sulfúrico já na câmara de entrada. Já nas câmaras abertas o ácido sulfúrico é gotejado pelo meio suporte orgânico situado acima.

4.1.4 TUBULAÇÃO DE DRENAGEM DE FUNDO

O excesso de líquidos, formado por água de irrigação e condensação de compostos presentes no gás residual, deve ser coletado e transportado até uma rede de esgoto ou um tratamento secundário adequado.

Um problema observado na drenagem dos biofiltros é a presença de sedimentos e partículas perdidas do meio suporte misturadas com o líquido drenado, por isso há necessidade de descarga nos pontos baixos da tubulação de drenagem visando a retirada dessas partículas já sedimentadas antes que ocorra obstrução dos tubos.

A transferência desse líquido pelos drenos para o esgoto ou outro tipo de tratamento deve ocorrer de maneira que não exista turbulência, pois os gases possivelmente presentes na solução podem liberar odor.

4.1.5 ESTRUTURA DE APOIO DO MEIO SUPORTE

O apoio do meio suporte biológico pode ser formado por pedras (no caso dos biofiltros não estruturados) e grades estruturais (no caso dos biofiltros estruturados com câmara aberta).

No caso do apoio composto por câmara preenchida, o material mais utilizado é a sílica, principalmente os cascalhos de fundo de rio. Esse tipo de pedra é mais apropriado por apresentar granulometria adequada e, além disso, sua forma arredondada evita danificações nas tubulações de entrada do fluxo de gás. Se a tubulação utilizada for resistente à abrasão, outro tipo de pedras mais pontiagudas pode ser utilizado. É recomendável o teste da pedra escolhida, submergendo a mesma em solução de 10% de ácido sulfúrico durante uma noite, garantindo assim sua resistência ao meio onde será depositada.

As pedras formadas por carbono não são apropriadas para o preenchimento da câmara de entrada, pois o carbono reage com o ácido sulfúrico formando cálcio e sulfato de magnésio, o que pode gerar danos à drenagem, e até colmatação do meio suporte e assim prejudicar a distribuição do gás e até a obstrução do seu fluxo.

Uma grande vantagem do meio suporte de pedras é a remoção do H_2S em um tratamento primário, aumentando dessa forma a vida útil do meio suporte orgânico e com isso a eficiência do biofiltro.

No caso dos biofiltros com câmara aberta, lajes perfuradas de concreto e placas de material plástico são comumente utilizadas.

4.1.6 ZONAS ÁCIDAS E NEUTRAS

Quando um gás formado por H_2S e compostos orgânicos passa pelo biofiltro há uma estratificação do tipo de bactérias que se desenvolvem. Devido a maior velocidade de conversão do substrato (H_2S), os organismos autotróficos dominam o sistema biológico do biofiltro, produzindo ácido sulfúrico como subproduto. Com isso, o pH do meio torna-se mais baixo do que o tolerado pelas bactérias heterotróficas, impossibilitando sua sobrevivência nesse meio. Apenas após a remoção de grande parte do H_2S , a proliferação das *Thiobacillus* deixa de prevalecer no meio, e é só então que os VOCs (compostos orgânicos voláteis) são degradados pelas bactérias heterotróficas, que sobrevivem em um pH igual ou maior do que 6.0. Portanto nesse ponto está o limite entre a mudança de pH de ácido para neutro. É importante salientar que essa linha limite dentre as zonas ácidas e neutras varia de acordo com a quantidade de H_2S fornecida pelo gás residual, influenciando assim o volume de cada zona.

O uso das pedras na câmara de entrada implica no fornecimento de condições para a colonização da superfície das pedras por bactérias autotróficas e, portanto há remoção considerável de H_2S antes da sua entrada no meio suporte orgânico, reduzindo dessa forma o tamanho da zona ácida e aumentando a zona neutra, melhorando assim a remoção dos VOCs. Outra vantagem da utilização do preenchimento de pedras na câmara de entrada é a manutenção da umidade relativa no interior do biofiltro já que as pedras absorvem parte da água de irrigação.

O formato da câmara de entrada com paredes laterais inclinadas assim como a disposição das pedras é recomendável devido a possível formação e deposição de sulfetos. A formação de sulfetos pode ocorrer devido à alta descarga de H_2S associada ao meio relativamente seco. Entretanto, a produção excessiva de produtos sulfurosos oxidados pode obstruir os interstícios do meio de pedras, gerando perda de carga do gás afluente e no caso crítico de uma colmatação do meio, a inatividade do biofiltro. Por esse motivo, a granulometria das pedras é extremamente importante no processo visto que menores granulometrias constituem menores poros, dificuldade maior da passagem de gás e por fim perda de carga. Já granulometrias maiores com grandes poros propiciam desenvolvimento de colônias de bactérias que em grandes quantidades podem prejudicar o sistema. Portanto, recomenda-se o uso de granulometrias variando entre 19 e 38mm.

Cotrole do pH

Quando ocorre grande concentração de ácido sulfúrico no meio suporte do biofiltro a estrutura de apoio pode ser prejudicada dependendo da sua espessura. Para alterar o pH, segundo WEF, 2004 algumas pesquisas foram realizadas como a adição de calcário na água de irrigação, entretanto o contato com o meio ácido forma sulfato de cálcio, um produto pastoso e denso que se acumula no fundo do meio suporte e causa compactação. Além disso, o pH alto pode diminuir a presença das *Thiobacillus*. Experiências têm concluído por fim que alterações do meio suporte para ajuste do pH não são necessárias e podem prejudicar a flora microbiana.

4.1.7 MEIO BIOLÓGICO DO FILTRO

Existem várias possibilidades de materiais a serem utilizados como meio suporte eficientes, mas todos apresentam vantagens e desvantagens, por isso a análise das condições específicas deve ser efetuada para a adoção da alternativa mais apropriada. Em geral meios suportes como arroz, casca de madeira, turfa, terra, areia ou a mistura desses materiais apresentam-se eficientes.

MECANISMOS DE REMOÇÃO DO ODOR

Basicamente dois processos ocorrem simultaneamente. Enquanto o ar passa pelo meio filtrante seus compostos são solubilizados através da umidade fornecida. O primeiro processo é a solubilização do composto na água segundo a lei de Henry para cada composto específico. Só após a dissolução do composto ocorre a degradação biológica. No segundo processo, portanto, a degradação biológica ocorre no meio suporte, que funciona como um reator que abriga uma ativa população microbiana. É por esse motivo que a quantidade de umidade é um fator essencial para a eficiência do biofiltro e a escolha do material ou mistura a ser utilizada no meio suporte deve ser criteriosa. Os componentes do meio suporte devem ser selecionados de forma que mantenham a umidade necessária e ao mesmo tempo sejam resistentes à compactação em função do peso gerado pelo próprio material e a adição de água.

TEMPO DE CONTATO COM O MEIO

A definição do tempo de contato do gás com o meio depende do próprio meio e da quantidade de gás descarregado. Em geral para organismos autotróficos o tempo de contato com o gás necessário varia entre 15 e 25 segundos, um tempo pequeno devido à fácil solubilidade do H₂S e à rapidez do metabolismo da *Thiobacillus*.

Para organismos heterotróficos o tempo de contato com o gás varia entre 30 e 60 segundos devido ao tamanho da maioria dos compostos orgânicos, formados por extensas moléculas de carbono, tornando o metabolismo dos organismos heterotróficos mais lentos. Alguns compostos orgânicos menos solúveis exigem tempo de contato de até 75 segundos.

O tempo de contato é um dos fatores mais importantes no dimensionamento dos biofiltros, só após sua definição outros fatores podem ser determinados.

MEIO SUPORTE DE TERRA

Tanto o uso da terra quanto de outros materiais inorgânicos, como areia ou pedregulhos esmagados desempenham o mesmo papel no meio orgânico, o fornecimento de condições para o crescimento das bactérias. Além disso, o fornecimento de nutrientes auxilia o desenvolvimento microbiano. Normalmente o meio inorgânico não apresenta disponibilidade de nutrientes solúveis, portanto nesse caso é necessária a adição dos mesmos (como por exemplo, nitrogênio, potássio e fósforo) na água de irrigação.

O meio de terra apresenta menor granulometria e conseqüentemente menores poros para a distribuição do gás residual. Os estreitos caminhos devido aos microporos restringem a passagem do gás e aumentam sua perda de carga. Uma das características para a escolha desse meio suporte é a simplicidade de execução do biofiltro. Alguns biofiltros são executados sem câmara de entrada e a tubulação chega diretamente no meio de terra. Com aproximadamente 10 anos de vida útil a substituição do meio e dos dutos não geram custos excessivos.

Os pequenos, mas numerosos poros dos meios suporte de areia ou pedregulhos esmagados podem ser muitas vezes obstruídos pelo crescimento bacteriológico, principalmente tratando-se das bactérias heterotróficas. Esses organismos têm a parede celular pegajosa e por isso tendem a se aglutinarem em massa, formando flocos maiores.

Na superfície dos biofiltros com meio inorgânico pode haver o surgimento de algas e fungos, prejudicando inexpressivamente o funcionamento do filtro, quando em grandes concentrações podem gerar perda de carga e obstrução dos poros superficiais.

Uma vantagem dos materiais inorgânicos usados nos meio suportes é sua durabilidade, principalmente as pedras e areia, que são fortes, mais resistentes a deformações causadas por umidade, havendo menor possibilidade de compactação e por isso, a substituição do meio ocorre com menor frequência.

MEIO SUPORTE ORGÂNICO

A maioria dos biofiltros é preenchida com materiais orgânicos no seu meio suporte devido à possibilidade de maior crescimento microbiano. A altura do meio suporte do biofiltro deve estar compreendida entre 0,80m e 1,20m. A mistura ideal para a remoção dos gases residuais deve ser pesquisada através de análises dos resultados em unidades já implantadas para auxílio na seleção dos materiais para composição do meio suporte para cada caso específico.

Independente do material ou da mistura efetuada, o meio orgânico deve satisfazer as seguintes condições:

- Área superficial e porosidade
- Leveza
- Retenção de umidade
- Disponibilidade de nutrientes

Quanto maior o material selecionado, maior sua área superficial, maior a porosidade, maior o fluxo de ar e com isso a remoção do odor.

A maioria dos materiais utilizados para compor o meio orgânico é constituída primeiramente de celulose. As fibras de celulose são compostas por uma substância chamada lignina, facilmente dissolvida em água. A produção de ácido no meio promove a destruição dessa lignina provocando então a redução da porosidade, da passagem de ar e por fim da eficiência do biofiltro.

A compactação conseqüente desse processo descrito acima é um grande inimigo dos meio suportes resultando em ineficiência e necessidade de substituição de todo o material utilizado.

Para solucionar esse problema são adicionadas lascas grandes de madeiras ou outros materiais maiores e espessos, com maior resistência à compactação.

VIDA ÚTIL DO MEIO SUPORTE

O meio orgânico do biofiltro deve ser trocado temporariamente. A quantificação desse intervalo para a substituição do material do meio suporte depende de vários fatores como a mistura selecionada para compor o meio, as condições climáticas, a produção de ácido e a quantidade de irrigação fornecida. O meio deve ser substituído quando a passagem do gás residual torna-se impossibilitada e a perda de carga torna-se insuficiente.

Remoção do meio

A remoção do meio suporte é a operação mais complexa associada aos biofiltros. Algumas recomendações devem ser seguidas para facilitar o processo e gerar um resultado mais adequado.

O projeto de implantação do biofiltro deve prever espaços para o acesso de caminhões, com arruamentos resistentes ao peso e abrasão do tráfego de veículos pesados para carregamento de grande volume de materiais do meio suporte e rampas com inclinações apropriadas para que a descarga e a recarga do biofiltro seja facilitada. Dessa forma os equipamentos utilizados na remoção e posteriormente reposição do material devem efetuar o trabalho sem adentrar as câmaras internas do biofiltro, evitando dessa forma, danos em sua estrutura.

Disposição do meio suporte invalidado

A disposição do meio suporte descartado ocorre geralmente em aterros, pois o material produzido não apresenta substâncias potencialmente perigosas ou tóxicas.

4.1.8 IRRIGAÇÃO E UMIDIFICAÇÃO

O controle de umidade em um biofiltro é fundamental para o seu bom funcionamento. O fornecimento de muita água pode preencher os poros do meio suporte criando uma zona de desenvolvimento anaeróbio, além de provocar um aumento de peso do meio suporte.

Observou-se que meio orgânicos expostos às chuvas sofrem mais compactação. Em contradição se na entrada do biofiltro o ar apresenta umidade abaixo de 100% ele evaporará a água do meio e secará a saída. Se o gás de entrada estiver quente poderá manter a água em estado de vapor e reciprocamente o ar frio condensa o vapor de água do meio.

Muitas vezes o gás que entra no biofiltro vem de um processo fechado, confinado (Reator UASB, por exemplo) e por isso contém alta umidade relativa. Em função da temperatura ambiente do local a condensação ocorre já no duto de transporte do gás. Por isso o monitoramento da umidade é importante, normalmente a irrigação deve ser maior no verão e menor no inverno.

Existem três formas de irrigação: umidificação na entrada do gás, irrigação no fundo do meio suporte através de mangueiras perfuradas e irrigação superficial com borrifadores.

Os sistemas de umidificação podem ser por cascata, dutos sprays e suave irrigação do leito.

A umidificação em cascata consiste na adição de água no topo do meio suporte formando uma contra corrente com o gás residual que entra por baixo do biofiltro.

Os dutos em spray são usados para fornecer umidade em pequenas bolhas de forma que o resfriamento seja menos evidente e a umidade seja formada por partículas de água que o gás residual carrega até o meio suporte.

A irrigação do leito ocorre a partir de mangueiras perfuradas introduzidas no fundo do meio suporte e acima da câmara de entrada. No caso das câmaras de pedras, essa água molha as pedras umidificando o gás de entrada. No caso das câmaras abertas a mangueira perfurada deve ser introduzida no fundo do meio suporte. Se houver saturação de água no meio suporte ocorre compactação e conseqüente necessidade de substituição do meio.

Uma forma de prevenir esse problema é a adoção de uma fina camada de pedras no fundo do meio suporte orgânico sobre a qual as mangueiras devem ser instaladas, dessa maneira a possibilidade de compactação do meio diminui, e é necessário uso de menos volume de água.

Nos biofiltros pré-fabricados são previstos vários pontos de aplicação de água, podendo haver variação de umidificação em diferentes zonas de acordo com a necessidade. Assim há manutenção do pH desejado, já que as zonas mais ácidas são menos irrigadas. Segundo WEF, 2004, a umidade ideal para o meio orgânico deve ser mantida entre 40 e 60%, para remoção do H₂S, sendo que quanto menor a granulometria do material utilizado, menor a necessidade de umidificação.

4.1.9 CONTROLE DE NUTRIENTES

Os nutrientes geralmente necessários ao metabolismo dos microorganismos nos biofiltros são nitrogênio, fósforo, e em menor proporção sulfuretos, ferro, manganês e magnésio. Considerando-se a concentração de nutrientes contida no efluente das ETEs, a utilização do mesmo para irrigação dos biofiltros pode favorecer o crescimento microbiano no meio suporte.

4.1.10 INSTRUMENTAÇÃO E MONITORAMENTO

É importante haver medidores de pressão nas entradas dos dutos de gás do biofiltro. A pressão é o melhor indicador da vida útil do meio suporte, o medidor indica pouco fluxo, o meio suporte deve ser substituído podendo haver até liberação de gás e odor. A pressão baixa também pode ser indicativa de saturação de água no biofiltro e perda de carga do gás.

É interessante que sejam previstos pontos de amostra com tampas para retirada de material e monitoramento. A eficiência da bomba impulsora de gás também deve ser monitorada.

4.1.11 CURTO CIRCUITO

No preenchimento do biofiltro os materiais utilizados são compostos por partículas de formato irregular, e como as paredes dos biofiltros normalmente são lisas o fluxo de ar percorre preferencialmente o caminho entre o meio e a parede onde há menos obstruções e onde a trajetória é mais curta e direta. Há duas formas de solucionar essa situação a partir do uso de uma membrana plástica, como uma manta geotêxtil. Para que não ocorra curto circuito entre a membrana e o meio, deve anexá-la no meio de forma que seu peso não permita que a membrana escape. É recomendável que o material plástico utilizado seja introduzido no meio em um ângulo de 45°. Se as paredes do biofiltro forem retas, em um ângulo de 90°, deve ser deixada uma sobra dessa membrana para fora do meio e depois introduzida para dentro novamente, presa pelo próprio meio suporte (Figura 7).



Figura 7 – Esquema da instalação das geomembranas para redução dos curto circuitos.

4.1.12 GEOMEMBRANAS

As geomembranas são utilizadas quando há diferentes camadas granulométricas de meio suporte, e funcionam como linha limite entre elas para separação de contato entre as mesmas. A vantagem disso é a prevenção de processos de colmatção ocorridos quando partículas de granulometria mais finas escorrem com a água de irrigação e se depositam no meio formado por material de granulometria maior, com o tempo esse processo pode causar obstrução do fluxo de gás. Entretanto a membrana selecionada deve ser permeável ao gás residual.

4.1.13 CONTROLE DA VEGETAÇÃO

O topo dos biofiltros geralmente exposto às intempéries apresenta condições propícias para o crescimento de vegetação. Com o vento e a ação dos pássaros, as sementes de plantas são depositadas sobre a superfície do biofiltro e com o rico substrato orgânico composto pelo meio suporte a germinação das sementes é inevitável. Se esse processo ocorrer de forma aleatória o resultado estético não é satisfatório. Em alguns casos, o projeto já prevê a cobertura de grama ou até vegetação decorativa. Entretanto, a raiz das plantas percorre o meio suporte gerando espaços de curto circuito do gás residual e dessa forma prejudica o processo. É ideal que não exista vegetação no topo dos biofiltros, entretanto por outro lado o uso moderado de vegetação com espécies de raízes curtas pode evitar o tráfego constate de pedestres e com isso prevenir a compactação do meio suporte. Podem ser aplicados herbicidas, mas em intervalos de tempo determinados, não muito freqüentes, para que não ocorra perda da flora microbiana.

Outra possibilidade é a cobertura da superfície do topo do biofiltro com uma camada de cascas de madeira, evitando o crescimento de vegetação e o tráfego de pessoas sobre o meio suporte sem afetar o aspecto estético.

4.2 BIOLAVADOR

O sistema é composto por um bioreator e um reservatório ou lavador. O processo é diferenciado já que a maior parte da biomassa denominada biomassa suspensa, fica em uma solução que é constantemente recirculada para o meio suporte. A unidade do reservatório, ou lavador tem a função de transferência de massa, onde ocorre a absorção. Essa solução é então recirculada para o reator onde ocorre então a degradação do gás no meio suporte. Este tipo de tecnologia é mais adequada para remoção de VOCs, com permanência de organismos heterotróficos (Figuras 8 e 9).

Na solução recirculada não há adição de compostos químicos, trata-se de uma solução biológica aplicada no topo do bioreator em sentido descendente, coletada pelo dreno de fundo e transportada ao reservatório onde o ciclo recomeça. Ao mesmo tempo o gás odorífero é aplicado no fundo do bioreator e segue em sentido ascendente ao topo, passando pelo meio suporte e dessa forma entrando em contato com a solução biológica.

Em alguns casos pode ser necessária a adição de carbono na solução para incrementar o crescimento biológico. Outra alternativa é a adição de lodos ativados na solução a ser recirculada.

Em geral o reservatório onde a solução biológica fica contida até sua recirculação no bioreator conta com uma aeração suplementar para aceleração da oxidação dos compostos.

Os bioreatores do sistema de biolavadores têm seu meio suporte preenchido normalmente por material sintético.

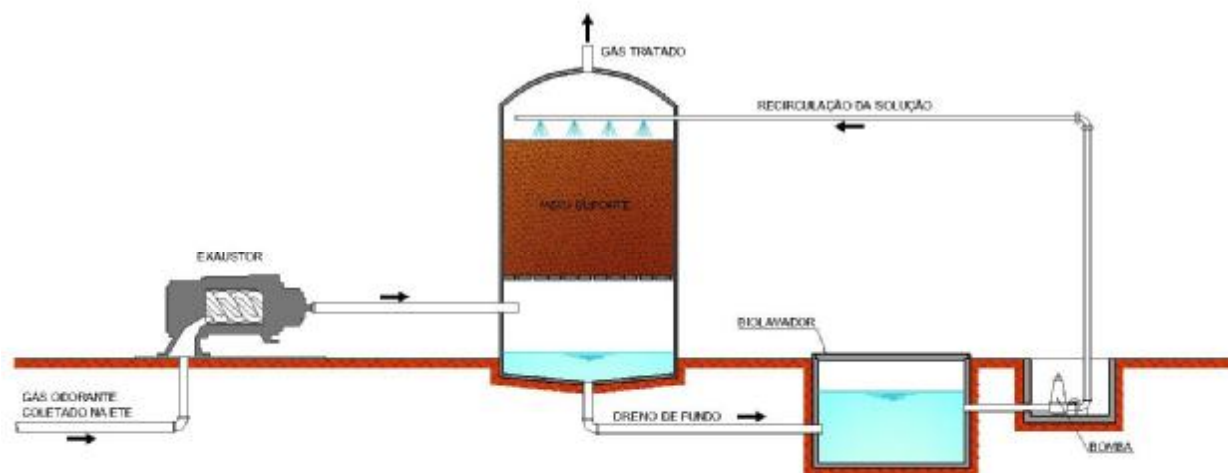


Figura 8 – Esquema de um biolavador de gases.



Figura 9 – Lavador de gases. Fonte: www.pruner.com.br.

4.3 BIOFILTRO PERCOLADOR

Trata-se de um sistema composto por um bioreator com funcionamento diferente do biolavador, a biomassa cresce no meio suporte e não na água recirculada, operando com um sistema de irrigação. Esse sistema apresenta-se mais apropriado para remoção de H₂S por organismos autotróficos.

O processo constitui-se do crescimento de um fino biofilme no meio suporte do reservatório onde o composto odorífero é absorvido ou diluído em uma solução de água para posteriormente ser degradado por processo aeróbico da cultura biológica.

O biofiltro pode ser construído ou pré-fabricado. O meio suporte utilizado é composto por material sintético, plástico ou em alguns casos pedra de lava. O material sintético gera eficiência de 90% enquanto a pedra de lava remove 80% do odor, de acordo com WEF, 2004. Além disso, a pedra de lava tem maior peso e requer uma estrutura de apoio mais forte. Alguns biofiltros recirculam a água de irrigação coletada no dreno, entretanto só é adicionada solução biológica para a inicialização do sistema, quando a acumulação de biomassa é necessária.

Em função da diferença dos tipos microbianos necessários para o processo (heterotróficos ou autotróficos) os biofiltros apresentam diferentes projetos. Para o desenvolvimento de organismos heterotróficos, com biomassa mais pesada e volumosa, o biofiltro deve ser maior e prever estrutura reforçada para apoio do meio suporte. Já no caso de crescimento dos organismos autotróficos, a estrutura é mais leve e o volume do tanque menor, havendo, além disso, menor possibilidade de colmatção.

Nos Estados Unidos, no caso de gases residuais com altas concentrações de H_2S , uma alternativa utilizada para a remoção desse gás e ainda a remoção de VOCs é a combinação dos biofiltros e os biofiltros percoladores, em duas fases. O gás ao passar pelo biofiltro percolador perde o H_2S , removido e convertido em ácido sulfúrico, e é então enviado para o biofiltro orgânico apenas com VOC's onde o tratamento do odor é então finalizado. Essa combinação é vantajosa, pois um gás residual com grandes concentrações de H_2S tratado em um biofiltro de meio suporte orgânico geraria um pH extremamente baixo a partir da produção de ácido que impossibilitaria a permanência de organismos heterotróficos no meio.

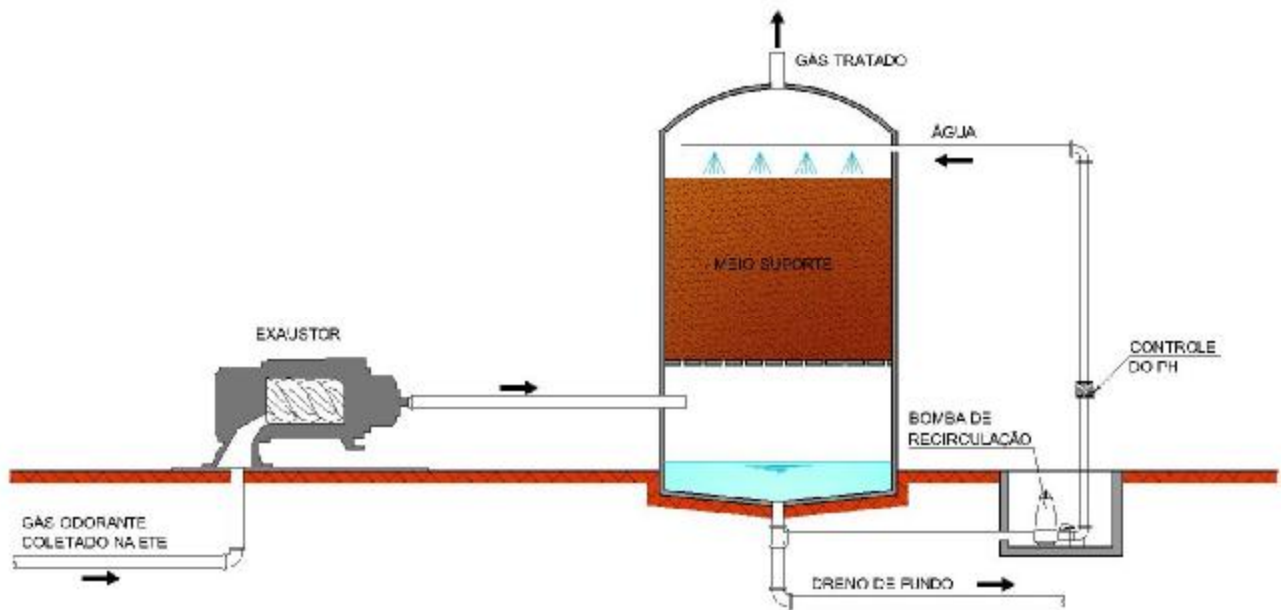


Figura 10 – Esquema de um biofiltro percolador.



Figura 11 – Biofiltro percolador. Fonte: www.pruner.com.br.

4.4 BACIA DE AERAÇÃO

A bacia de aeração é constituída por uma solução de lodos ativados composta por ambos microorganismos, autotróficos e heterotróficos, que, portanto, podem degradar vários tipos de compostos. Se o composto é solúvel e pode ser degradado biologicamente, a bacia de aeração é capaz de removê-lo.

Com a aeração o processo é acelerado, considerando a melhor solubilidade dos compostos. O tamanho e a pressão das bolhas de gás influencia bastante essa solubilidade e a transferência de massa na interface ar/água.

Em geral os compostos orgânicos pesados são menos solúveis, entretanto nas bacias de aeração eles são dissolvidos em função da pressão fornecida.

Há vários mecanismos de degradação apropriados para compostos odoríferos no sistema de lodos ativados. Em algumas ocasiões os organismos autotróficos podem oxidar rapidamente H_2S devido a sua alta solubilidade e ao processo metabólico. Os compostos resultantes, reduzidos ou oxidados podem ser utilizados pelas próprias células através de síntese protéica para seu crescimento.

Os compostos orgânicos solúveis ou moderadamente solúveis serão degradados rapidamente com auxílio inclusive da aeração já que muitos processos requerem demanda química de oxigênio. Já os compostos orgânicos insolúveis não são removidos por esse processo.

Alguns problemas observados em unidades já implantadas de bacias de aeração para tratamento de odores são a corrosão das tubulações de aeração e alguns pontos de coleta do gás contendo partículas de materiais, poeiras e névoas. Esses materiais podem danificar os equipamentos de impulsão do gás, como exaustores e difusores. Além disso, essas partículas podem formar depósitos de lodo nos impulsores ou lóbulos de aeração em casos de mudanças críticas de temperatura e pressão acarretando em perda de eficiência dos equipamentos e desequilíbrio do sistema.

O tipo de difusor utilizado no processo influencia sua eficiência, principalmente no que se refere no tamanho das bolhas. Bolhas de gás menores solubilizam mais rápido os compostos odoríferos, entretanto a possibilidade de obstrução dos difusores aumenta.

A determinação da quantidade de oxigênio fornecida não foi definida, entretanto recomenda-se como critério de projeto uma porção de ar de aproximadamente 60% da capacidade do exaustor, segundo WEF,2004.

Se na estação de tratamento de esgotos houver uma unidade de tratamento aeróbia, a mesma pode ser aproveitada utilizando-se o mesmo processo, entretanto substituído a bacia de aeração. Ou

seja, os gases coletados a serem tratados são enviados através de difusores para essa unidade em questão (pode ser um reator aerado ou um tanque de lodos ativados), rica em biomassa para degradar os compostos odoríferos. Com isso, há menor necessidade de investimentos de capital para execução de obras, operação simplificada e não há adição de compostos químicos no processo.

Essa tecnologia ainda está sendo pesquisada e com o desenvolvimento dos estudos é necessário um refinamento dos critérios de projeto e operação. Entretanto essa tecnologia é mais apropriada para gases com maior concentração de H_2S .

4.5 RECIRCULAÇÃO DE LODOS ATIVADOS

Nos processos citados anteriormente o H_2S é tratado na fase gasosa e em unidades confinadas (biofiltros, biolavadores ou até em bacias de aeração). O H_2S é então dissolvido em uma solução líquida para ser degradado pelas bactérias, convertido então em compostos inodoros.

No processo de aproveitamento dos lodos ativados, a própria “mistura biológica” de que é constituído é capaz de realizar a dissolução e conversão de compostos sulfurosos em substâncias sulfurosas, oxidadas, e inodoras, quando fornecido oxigênio adequado.

Segundo WEF, 2004, algumas pesquisas em larga escala foram conduzidas nos Estados Unidos, onde o lodo ativado foi recirculado para o início do tratamento de esgoto, lançado no afluente ao tratamento preliminar. Foram monitoradas as concentrações de compostos sulfurosos a montante e a jusante da aplicação dos lodos ativados. Algumas conclusões devem ser consideradas para a análise da eficiência desse processo.

A taxa de capacidade de remoção dos compostos sulfurosos dissolvidos pela adição dos lodos ativados aumenta com o aumento das concentrações desses compostos no esgoto afluente. A preaeração dos lodos ativados não resultou remoção mais efetiva, portanto não auxilia significativamente o processo.

A maior parte da oxidação dos compostos sulfurosos ocorre imediatamente no contato do afluente com os lodos ativados, sendo completada em um intervalo de 8 a 10 minutos.

Apesar do oxigênio dissolvido não ser fator limitante no processo de tomada biológica de compostos sulfurosos pelos lodos ativados, os estudos apresentam necessidade de aeração dos lodos ativados a cada 45 minutos.

Além disso, o processo ainda deve ser ajustado já que tanto na chegada do afluente quanto no próprio tratamento preliminar ocorrem turbulências e fluxos de ar constantes. Períodos chuvosos

ou aumento das vazões afluentes eventualmente decorrem do requerimento de interrupção da adição de lodos ativados, o que não prejudica o processo já que o esgoto diluído apresenta menores concentrações de compostos sulfurosos.

A vantagem desse processo é a remoção dos compostos sulfurosos e a conversão deles em H_2S em unidades de tratamento aeróbias.

O uso dos lodos ativados pode ocorrer em várias unidades de tratamento de esgotos aeróbias, com isso o custo benefício para o controle de esgotos é bastante atrativo, já que não é necessário nenhum gasto com compostos orgânicos, e aproveitamento de recurso local.

A determinação da quantidade de lodos ativados necessária a ser aplicada em cada ponto selecionado depende de cada caso. Os fatores que influenciam essa concentração são: as variações de oxigênio dissolvido nos lodos ativados e a concentração de sólidos suspensos totais e de compostos sulfurosos no afluente.

5. CONCLUSÃO

Atualmente, o desenvolvimento das tecnologias para o controle das emissões odorantes em estações de tratamento de esgotos através de processos biológicos tem recebido uma maior atenção em relação àquelas que utilizam processos físicos ou químicos, porque agregam mais benefícios considerando-se principalmente sua implantação em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, onde fatores como custos de implantação e manutenção, além da simplicidade operacional são essenciais para sua viabilidade.

Os processos químicos e físicos são mais sofisticados e há requisição de altos custos de implantação e operação e são mais apropriados para tratamentos de altas concentrações de gases odorantes, muitas vezes presentes em efluentes industriais.

Dentre os métodos biológicos para tratamento dos gases odorantes apresentados neste trabalho é importante ressaltar que a seleção da tecnologia mais apropriada envolve uma análise comparativa das suas vantagens e desvantagens relacionando-as com a realidade de cada caso especificamente.

Se na ETE houver uma unidade de tratamento de esgoto por processos aeróbio como pós-tratamento de um processo anaeróbio anterior, o aproveitamento desta para o tratamento do biogás é a melhor solução do ponto de vista do custo-benefício gerado.

Em caso de ETEs onde não há unidade de tratamento aeróbio disponível, as demais tecnologias apresentadas podem ser implantadas de acordo com sua aplicabilidade e com as necessidades apresentadas no local.

Levando-se em conta os aspectos econômicos, os biofiltros tanto estruturados como não estruturados são mais adequados em função dos baixos custos de implantação e manutenção, além da simplicidade operacional. Além disso, são apropriados para remoção de gases odorantes resultantes do tratamento de esgotos domésticos, pois neste caso encontram-se em baixas concentrações. Entretanto, em períodos chuvosos a eficiência desses sistemas pode ficar comprometida caso os biofiltros não sejam cobertos.

Os biofiltros pré-fabricados respondem rapidamente a demandas de urgência, quando o tempo de instalação é um fator importante. Mas por outro lado seu custo de implantação é um pouco mais alto em relação aos biofiltros construídos in loco, sendo a manutenção e a operação semelhante. Alguns diferenciais encontrados são equipamentos medidores instalados em algumas unidades como item opcional, possibilitando um controle maior do processo.

Já no caso dos biofiltros percoladores, os custos apresentam-se moderados e o processo é mais complexo, havendo requisição de uma operação mais especializada e, em alguns casos a adição de nutrientes na água de recirculação para auxiliar o crescimento microbiótico. Entretanto, dessa forma, é possível um maior controle do pH do meio.

Os biolavadores, por sua vez, constituem processo mais sofisticado e complexo e, todavia mais eficiente. Além disso, exige menor área de ocupação e possibilita um controle bem maior de todo o processo, inclusive a alteração do pH e do próprio processo em si, caso não seja o esperado. Entretanto, devido ao seu elevado custo, tanto de implantação, quanto de manutenção são utilizados em casos de tratamento de gás residual constituído por correntes gasosas altamente contaminadas.

Por fim, no caso de ETEs existentes, a seleção da tecnologia adequada depende da análise das prioridades e necessidades a serem cumpridas, optando-se dessa forma pela tecnologia que agrega maiores vantagens. No caso de ETEs em fase de projeto a escolha da tecnologia permite uma maior flexibilidade, havendo possibilidade inclusive da redução das emissões odoríferas através de estratégias, como eliminação de pontos de turbulência, degraus ou afunilamentos críticos em unidades de tratamento, ou mesmo em unidades anaeróbias com a criação de soluções para impossibilitar que o gás escape para atmosfera, como por exemplo as coifas dos reatores UASB.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELLI FILHO, P.; COSTA, R. H. R.; GONÇALVES, R. F.; CORAUCCI FILHO, B.; LISBOA, H. M. Tratamento de Odores em Sistemas de Esgotos Sanitários. In: Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios – Belo Horizonte: PROSAB, 2001. Cap. 8, p.455-490.

BOHN, H. Consider Biofiltration for Decontaminating Gases. Chemical Engineering Progress, Air Pollution Control, April, 1992.

CARVALHO, Cleide Martins de; WOLFF, Delmira Beatriz; RIBEIRO, Leonardo Guimarães; CHIARANDA, Helen Simone; COSTA, Rejane Helena R. ; FILHO, Paulo Belli. Biofiltração para Desodorização em Reatores Anaeróbios. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA e AMBIENTAL, 21º, 2001, João Pessoa. *Saneamento Ambiental: Desafio para o Século XXI*, Paraíba, João Pessoa: ABES, 2001. p 1-10.

CHERNICHARO, C.A.L., STUETZ, R.M., SOUZA, C.L., MELO, G.C.B. Alternativas para o controle de emissões odorantes em reatores anaeróbios tratando esgoto doméstico. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 15 (3): 229-236, 2010.

CHERNICHARO, C.A.L., STUETZ, R.M., SOUZA, C.L., MELO, G.C.B. Contribuição para o projeto de biofiltros aplicados ao tratamento de emissões odorantes provenientes de reatores anaeróbios. *Revista DAE*, 186, p. 56-62, 2011.

[http://: www.pruner.com.br](http://www.pruner.com.br)

RIBEIRO, José Tarcísio. Controle de Odores em Sistemas de Esgoto Sanitário. In: NUVOLARI, Ariovaldo. *Esgoto Sanitário: Coleta, Transporte, Tratamento e Reuso Agrícola*. Editora Blüchen, 2003. Cap. 8, p. 485-504.

SILVA, Marjorye Boldrinida. *Influência do tipo de meio suporte no desempenho de biofiltros aplicados à remoção de H₂S do ar atmosférico em sistemas de esgoto sanitário*. 2008. 156f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Ambiental) Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

SOUZA, Cláudio Leite de. *Estudo das Rotas de Formação, Transporte e Consumo dos Gases Metano e Sulfeto de Hidrogênio resultantes do tratamento do esgoto domésticos em Reatores UASB*. 2010. 147f. Tese. (Dotourado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

VAN GROENESTIJN, J.W. and HESSELINK, P.G.M. 'Biotechniques for air pollution control'. *257 Biodegradation*, 4:283-301, 1993.

WEF. *Control of odors and emissions from wastewater treatment plants - Manual of Practice 25*. 259 Alexandria: Water Environment Federation, 538 p., 2004.