

DESODORIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO POR BIOFILTRAÇÃO

Eduardo Atanázio dos Santos

Orientador: Prof. Dr. Paulo Belli Filho

2014/1

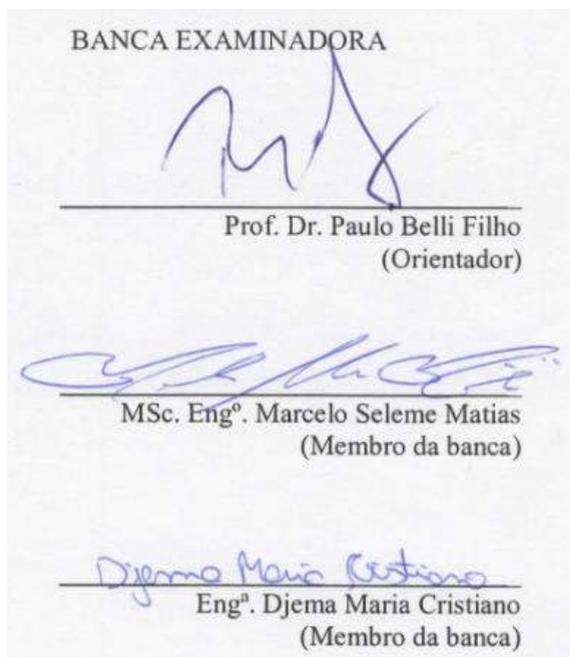


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL**

**DESODORIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ESGOTAMENTO
SANITÁRIO POR BIOFILTRAÇÃO**

EDUARDO ATANÁZIO DOS SANTOS

Trabalho apresentado à Banca Examinadora como parte dos requisitos para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – TCC II



**FLORIANÓPOLIS
JULHO/2014**

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Atanázio e Silvana, por todo amor e suporte para que eu pudesse estar aqui hoje.

Ao meu orientador, Prof. Paulo Belli, pela ajuda, compreensão e confiança.

Ao Rodrigo pela ajuda na coleta dos dados.

A Maria Joana pela ajuda na coleta dos dados e grande auxílio sempre que precisei.

A Multiágua Engenharia Ambiental, a executora do projeto que embasou este trabalho, pela oportunidade de estágio, onde muito aprendi e pela confiança em meu trabalho.

A CASAN, por ceder o espaço e suporte para implantação do biofiltro.

A FINEP, pelo financiamento que tornou possível a pesquisa.

Aos demais professores, colegas e amigos que contribuíram para essa conquista.

Muito obrigado!

RESUMO

Uma grande causa de conflitos entre as concessionárias de saneamento e a comunidade são os maus odores gerados pelos processos anaeróbios ocorridos em estações de tratamento de esgoto e estações elevatórias de esgoto. A degradação da matéria orgânica contida no esgoto já se inicia dentro das tubulações do sistema de esgotamento, e esta degradação é responsável pela geração de compostos mal odorantes assim como a amônia, aminas, fenóis, aldeídos, e como composto principal dos odores, o sulfeto de hidrogênio (H_2S). Dentre os processos de tratamento dos odores, destaca-se a biofiltração, devido aos baixos custos de implantação e operação, facilidade operacional, alta eficiência no tratamento de altas vazões de gases odorantes a baixas concentrações, entre outras vantagens. O presente trabalho teve como objetivo operar e avaliar um biofiltro automatizado com leito de turfa para tratamento de odores da estação elevatória de esgoto Ponta do Leal, visando determinar a sua eficiência na remoção de odores através de técnicas olfatométricas e na remoção de H_2S através de medições com Jerome 631-x, o volume de água necessário para manter a umidade ótima da turfa e, ainda, avaliar parâmetros físicos, químicos e biológicos da turfa. Com este trabalho, foram determinados os parâmetros ótimos de funcionamento do biofiltro, que serão os dados de entrada do sistema de automatização do equipamento para que este atinja sua eficiência máxima na remoção de H_2S e odores.

Palavras-chave: odor, biofiltração, H_2S - sulfeto de hidrogênio.

ABSTRACT

A major cause of conflicts between utilities and sanitation company and community are the odors generated by anaerobic processes of sewage treatment plants and sewage pumping stations. The degradation of organic material contained in wastewater already begins within the pipes of the drainage system, and this degradation is responsible for the generation of bad odorous compounds like ammonia, amines, phenols, aldehydes, and hydrogen sulfide (H_2S), the main odorous compound.

Among the odors treatment processes, biofiltration stands out due to the low cost of implementation and operation, operational facility, high efficiency in the treatment of high odorants gas flow at low concentrations, among other advantages.

The present work aims to operate and evaluate an automated biofilter with peat layer for odor treatment of the sewage's lift station of Ponta do Leal, to determine their effectiveness in removing odors through olfatometric and H_2S removal from measurements with a Jerome 631-x, the volume of irrigation water needed to maintain optimum moisture content of the peat, and also assess the physical, chemical and biological parameter of the peat.

Hereby, through this work, were determined the optimal parameters of the biofilter operation, which will be the input data of the automation system of the equipment so that it reaches its maximum efficiency in removing odors and H_2S .

Keywords: Odor, biofiltration, H_2S - hydrogen sulfide.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aplicabilidade de várias tecnologias para controle da poluição do ar baseado na vazão e concentração do gás a ser tratado...	20
Figura 2 - Esquema de um biofiltro fechado	23
Figura 3 - Vista frontal do biofiltro.....	29
Figura 4 – Esquema da vista lateral do biofiltro e pontos de inspeção.	30
Figura 5 - Fotografia do medidor de H ₂ S Jerome 631-X.	32
Figura 6 - Termo anemômetro KIMO MP-200 utilizado na medição de vazão de gases odorantes.	34
Figura 7 - Ilustração do controlador de umidade SMRT-Y e sua respectiva sonda	35
Figura 8 - Controladores de umidade e temporizador já instalados no biofiltro	35
Figura 9 – Gráfico concentrações de entrada e saída e eficiência de remoção de H ₂ S.....	41
Figura 10 - Gráfico Vazão de gás odorante ao longo do tempo	42
Figura 11 - Curva de calibração dos controladores de umidade	44
Figura 12 - Gráfico umidade real média da turfa ao longo do tempo ..	45
Figura 13 - Gráfico Frequência em que os odores são sentidos	46
Figura 14 - Gráficos frequência de inquietude a) anterior e b) posterior à implantação do biofiltro	47
Figura 15 - Gráficos frequência de náusea a) anterior e b) posterior à implantação do biofiltro	47
Figura 16 - Gráficos frequência de irritação a) anterior e b) posterior à implantação do biofiltro	47
Figura 17 - Gráfico Intensidade odorante da entrada e saída do biofiltro	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos principais compostos odorantes em estações de tratamento de esgotos.....	15
Tabela 2 - Concentrações de H ₂ S médias em algumas etapas do sistema de esgotamento sanitário	16
Tabela 3 – Fatores considerados para a caracterização completa de um odor	17
Tabela 4 – Sintomas observados devido à exposição ao H ₂ S de acordo com a concentração	18
Tabela 5 – Alternativas para tratamento de odores.....	19
Tabela 6 – Custos por unidade volumétrica de gás tratado entre diversas tecnologias de tratamento.....	21
Tabela 7 - Vantagens e desvantagens da biofiltração no tratamento de odores.....	22
Tabela 8 – Resultados obtidos em tratamento de H ₂ S por biofiltração na bibliografia internacional	26
Tabela 9 – Níveis de Intensidade de odor	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. JUSTIFICATIVA.....	12
3. OBJETIVOS.....	13
3.1. OBJETIVO GERAL.....	13
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
4.1. ODOR	14
4.1.1. <i>Características dos odores</i>	14
4.1.2. <i>Fontes geradoras de odor</i>	16
4.1.3. <i>Medição do odor</i>	16
4.2. SULFETO DE HIDROGÊNIO (H ₂ S)	18
4.3. ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO DE ODOR	19
4.3.1. <i>Biofiltração</i>	21
5. METODOLOGIA	29
5.1. O BIOFILTRO	29
5.2. DIMENSIONAMENTO DO BIOFILTRO	31
5.3. OPERAÇÃO DO BIOFILTRO.....	32
5.4. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS.....	32
5.4.1. <i>Concentração de H₂S</i>	32
5.4.2. <i>Vazão de gás tratada</i>	33
5.4.3. <i>Caracterização da turfa in situ</i>	34
5.4.4. <i>Umidade real da turfa</i>	36
5.4.5. <i>Medição do volume de água irrigado</i>	36
5.4.6. <i>Taxa de aplicação superficial de água para irrigação</i>	37
5.4.7. <i>Taxa de aplicação superficial de gás odorante</i>	37
5.4.8. <i>Taxa de remoção mássica</i>	37
5.4.9. <i>pH do percolado extraído</i>	37
5.4.10. <i>Análises olfatométricas</i>	38
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
6.1. CONCENTRAÇÕES DE H ₂ S MEDIDAS E EFICIÊNCIA DO SISTEMA ..	40
6.2. VAZÕES DE GÁS ODORANTE ADMITIDO.....	41
6.3. TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO ..	43
6.4. EFLUENTE PERCOLADO	43

6.5.	UMIDADE REAL DA TURFA.....	43
6.6.	HEDONICIDADE ODORANTE	45
6.7.	INTENSIDADE ODORANTE	48
7.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	50
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
	ANEXO I – TABELA DE CONCENTRAÇÕES DE H₂S DE ENTRADA E SAÍDA (EM PPM) E EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO OBTIDAS	56
	ANEXO II - QUESTIONÁRIO DE HEDONICIDADE ODORANTE	58
	ANEXO III – QUESTIONÁRIO DE INTENSIDADE ODORANTE	61

1. INTRODUÇÃO

Uma grande causa de conflitos no saneamento é a emissão de maus odores em estações elevatórias e de tratamento de esgoto sanitário. Relatos de Silva (2007) citam que, dentre os impactos negativos do tratamento de esgotos, a proliferação de odores ofensivos é um dos principais motivos de reclamações das ETEs, pois causam grande desconforto à população dos arredores destas instalações.

Um grande conflito é travado entre as concessionárias de saneamento e a população, e ainda o poder público, visto que a comunidade repudia a construção de instalações de esgotamento sanitário. Esta imagem negativa está associada ao mau cheiro emitido por tais instalações, que afeta, e muito, a qualidade de vida da população vizinha, gerando ainda impactos financeiros, uma vez que é perceptível a desvalorização imobiliária das propriedades situadas nas proximidades destas instalações.

Além do incômodo à população do entorno das Estações Elevatórias de Esgoto (EEEs) e Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), a liberação de sulfeto de hidrogênio em altas concentrações pode provocar problemas de toxicidade aguda aos operadores dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto e ainda causa corrosão nas estruturas (especialmente as de cimento e metais), reduzindo sua vida útil. Sendo assim, o interesse no tratamento dos gases emitidos em EEEs e ETEs tem aumentado nas companhias de saneamento brasileiras (ARNESEN E SAMPAIO, 2013).

A realidade atual é que todos querem desfrutar dos benefícios trazidos pelo saneamento, mas ninguém quer arcar com os custos para isto. Neste conflito, a população está com razão, visto que nenhum habitante deve ser afetado pela existência de uma estação elevatória, ou uma estação de tratamento de esgoto próxima à sua residência, portanto, cada vez mais as concessionárias buscam soluções tecnológicas para acabar com os odores gerados, e com isto, reduzir as queixas da população.

Uma solução tecnológica que vem sendo estudada nos últimos anos para o tratamento destes odores é a biofiltração, que é o tratamento dos gases causadores dos odores através de bactérias que utilizam o gás odorante como fonte de obtenção de energia. Esta tecnologia vem se mostrando como uma alternativa viável para solucionar este problema, visto que é uma tecnologia barata, de fácil operação, manutenção simplificada e elevada eficiência de remoção de odores.

O tratamento de odores através da biofiltração baseia-se na degradação de gases odorantes pelas bactérias que se encontram aderidas no meio filtrante que é a turfa, um material orgânico granular natural facilmente encontrado e rico em substâncias nutritivas que serão consumidas pelas bactérias para sua manutenção. Esta turfa está sempre úmida, com 50 a 60% de umidade, então os gases contendo odores são captados pelo filme de água existente na superfície dos grãos de turfa, para posteriormente serem degradados pelas bactérias.

O Biofiltro avaliado neste trabalho faz parte de um projeto financiado pela FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) e executado pela empresa Multiagua Engenharia Ambiental Ltda., em parceria com a Universidade Federal de Santa Catarina, através do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Implantou-se uma unidade modulada de biofiltração com leito de turfa para tratar odores gerados pela estação elevatória de esgoto da CASAN (Companhia Catarinense de Águas e Saneamento), localizada no CIOM (Centro Integrado de Operação e Manutenção da Região Metropolitana) no bairro Balneário Estreito, em Florianópolis. Optou-se pelo biofiltro modulado com leito de turfa devido à facilidade de implantação e operação, custos baixos, elevada eficiência na remoção de odores, não geração de subprodutos que teriam que ser tratados posteriormente e por trazer menor risco aos operadores do sistema.

O propósito do projeto é aprimorar a tecnologia através de testes da unidade já implantada que é uma unidade de testes em escala real e provar que a tecnologia proposta é viável e muito eficaz, visando posteriormente disseminar a tecnologia para diversas estações elevatórias e estações de tratamento de esgoto e com isto, pode-se tornar o funcionamento das instalações ligadas ao transporte e tratamento de esgoto menos impactante para a sociedade, resultando numa redução do atrito existente entre a comunidade e as concessionárias, que devem sempre estar buscando tecnologias para oferecer um serviço com a maior qualidade possível para a população.

2. JUSTIFICATIVA

Dentre todas as técnicas de desodorização de gases gerados em sistemas de esgotamento sanitário, a biofiltração se destaca por ser um método relativamente barato, com um atraente custo x benefício, facilidade de operação, geração de pouco ou nenhum resíduo, etc.

Para garantir uma boa eficiência do sistema de tratamento de odores por biofiltração, alguns parâmetros físicos e químicos devem ser monitorados a fim de manter um ambiente ótimo para a vida e reprodução microbiana que realiza a oxidação dos gases odorantes. Alguns dos parâmetros são o pH, a temperatura, umidade, área do biofiltro, vazão e concentração do poluente a ser tratado.

A proposta da biofiltração para remoção de odores já vem sendo estudada há algum tempo pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC, sendo o diferencial deste trabalho avaliar além das variáveis clássicas de monitoramento de um sistema de biofiltração, um sistema de automatização do biofiltro. A avaliação do biofiltro proposta neste trabalho visa testar e tornar conhecida a técnica de automatização deste tipo de sistema, pois esta é uma forma de melhorar a tecnologia de tratamento de odores e facilitar a operação de sistemas futuramente implantados.

Portanto, este trabalho visa à avaliação e monitoramento do sistema de biofiltração proposto, a fim de aperfeiçoar o sistema e adequá-lo, se necessário, para uma posterior comercialização e expansão da tecnologia, beneficiando desta forma, muitas pessoas que sofrem os impactos causados pelos sistemas de esgotamento sanitário.

Há de se ressaltar a necessidade de estudos relacionados ao tratamento de odores provenientes de sistemas de esgotamento sanitário, pois é um avanço extremamente necessário para garantir o conforto da população usuária destes sistemas.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral operar e avaliar um biofiltro desodorizador de gases instalado na estação elevatória Ponta do Leal, de propriedade da CASAN, localizada junto ao CIOM, no bairro Estreito, em Florianópolis.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar parâmetros físicos da turfa;
- Avaliar a eficiência do biofiltro quanto à remoção de H_2S ;
- Avaliar a eficiência do biofiltro na remoção de odor através de técnicas olfatométricas;
- Determinar a quantidade de água que deve ser aspergida no leito filtrante para garantir uma umidade ótima do biofiltro.
- Apresentar resultados referentes ao funcionamento do equipamento avaliado, que possam garantir a viabilidade da implantação de unidades semelhantes à estudada.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresentará uma revisão da literatura disponível quanto à definição de odor, odor de esgotamento sanitário, métodos para determinação de quantidade e qualidade do odor, alternativas de controle e tratamento de odores por biofiltração, que é o principal foco do presente trabalho.

4.1. ODOR

Odor é o que se sente ao inspirar ar contendo algum tipo de substância química (GODISH, 1991). Os odores podem ser definidos como resultantes das sensações das moléculas químicas de natureza diversa, interagidas com o sistema olfativo em um corpo, causando impulsos que são transmitidos ao cérebro (WEF, 1995).

Para Prokop (1996), apesar de cotidianamente trazer consigo uma conotação desagradável, o odor simplesmente denota que alguma substância volátil ou semi-volátil está sendo detectada pelo sistema olfativo humano. Portanto, odor é uma sensação resultante da estimulação do organismo, sendo que cada organismo reage a este estímulo de forma diferente, ou seja, cada organismo pode ter uma percepção de um mesmo odor, o que dificulta sua caracterização e quantificação.

Em processos anaeróbios de tratamento de esgotos, os compostos odorantes provenientes da atividade bacteriana são: gás sulfídrico, mercaptanas, amônia, aminas com baixo peso molecular, indol, escatol, ácidos graxos voláteis, álcoois, aldeídos, cetonas e ésteres (BELLI FILHO et al., 2001).

Dentre os gases odorantes produzidos nos sistemas de esgoto, destaca-se o gás sulfídrico, conhecido como H_2S (ARNESEN E SAMPAIO, 2013).

4.1.1. Características dos odores

Cada substância odorífera possui um odor característico, e um limiar olfativo, ou seja, uma concentração mínima necessária para que o odor desta substância pode ser detectado pelo olfato humano. A Tabela 1, adaptada de BELLI FILHO et al (2001), apresenta as características dos principais compostos odorantes em estações de tratamento de águas residuárias.

Tabela 1 - Características dos principais compostos odorantes em estações de tratamento de esgotos

Classe de composto	Composto	Característica dos odores	Limite olfativo (mg/N.m ³ de ar)
Enxofre	Gás Sulfídrico	Ovo podre	0,0001 a 0,03
	Metilmercaptana	Repolho, alho	0,0005 a 0,08
	Etilmercaptana	Repolho podre	0,001 a 0,03
	Dimetilsulfeto	Legume podre	0,0025 a 0,65
	Dietilsulfeto	Etéreo	0,0045 a 0,31
	Dimetildisulfeto	Pútrico	0,003 a 0,014
Nitrogênio	Amônia	Picante e irritante	0,5 a 37
	Metilamina	Peixe podre	0,0021
	Etilamina	Picante, amoniacal	0,005 a 0,83
	Dimetilamina	Peixe deteriorado	0,047 a 0,16
	Indol	Fecal, nauseante	0,0006
	Escatol	Fecal, nauseante	0,0008 a 0,10
	Cadaverina	Carne em decomposição	-
Ácido	Acético	Vinagre	0,025 a 6,5
	Butírico	Manteiga	0,0004 a 3
	Valérico	Suor	0,0008 a 1,3
Aldéidos e Cetonas	Formaldeído	Ocre, sufocante	0,033 a 1,12
	Acetaldeído	Maçã	0,04 a 1,8
	Butiraldeído	-	0,49
	Isovaleraldeído	Ranço	0,013 a 15
	Acetona	Fruta, maçã	0,072
Álcoois e Fenóis	Etanol	Fruta doce	1,1 a 240
	Butanol	-	0,006 a 0,13
	Fenol	-	0,0002 a 0,004
	Cresol	-	0,00001

Fonte: Adaptado de BELLI FILHO et al, 2001.

4.1.2. Fontes geradoras de odor

Em sistemas de esgotamento sanitário, existem diversas unidades passíveis de geração de odores, a Tabela 2 apresenta as concentrações de odor médias, medidas em forma de H₂S.

Tabela 2 - Concentrações de H₂S médias em algumas etapas do sistema de esgotamento sanitário

Unidades do sistema de esgotamento	Concentrações médias	
	(mg/m ³)	(PPM)
Estação elevatória	4,8	3,47
Unidades de pré-tratamento	3,5	2,53
Decantador	0,5	0,36
Sistema de lodos ativados	0,4	0,29
Espessador de lodo	9,8	7,08
Sistema de desidratação de lodo	6,5	4,69
Sistema de disposição final de lodo	0,4	0,29

Fonte: Adaptado de BELLI FILHO, 2001.

4.1.3. Medição do odor

Segundo Fernandez (1997), citado por CABRAL (2003), medir um odor é medir uma percepção. Para Le Cloirec et al (1991), distinguem-se duas famílias de métodos para medir os odores: a primeira é constituída pelos métodos físico-químicos, que permitem identificar e quantificar, com o auxílio de instrumentos analíticos os diferentes compostos presentes no ar odorante, onde se encaixam a cromatografia gasosa, espectrometria de massa; e a segunda é a família dos métodos psicofísicos, que utilizam como instrumento para avaliação dos odores o nariz humano, este é o domínio da olfatometria.

A olfatometria é uma técnica psicofísica que utiliza o sentido olfativo para determinar a intensidade dos odores (JIANG, J. KAYE, R., 2001, citado em CABRAL, 2003), onde um odor é diluído em ar inodoro para avaliar suas características, como intensidade, que é a força do odor (RIBEIRO, 2003), determinada através da comparação o n-butanol, no método estático, diluído em água destilada, ou com o auxílio

de um olfatômetro, que dilui as amostras de gás com um gás inodoro instantaneamente, que é o método dinâmico (ASTM E544-75, 1997). Outra característica que pode ser determinada de um odor é o valor hedônico, que é a medida do agrado ou desagradado de uma amostra de um odor, em uma escala que varia de -10, para odores desagradáveis até +10, para odores agradáveis (MCGINLEY et al., 2000). Os odores possuem ainda uma característica denominada caráter, que é uma comparação do odor com uma escala "padrão" de um observador, ou seja, o observador vai comparar o odor que ele está sentindo com outro odor que ele já sentiu anteriormente, utilizando um vocabulário de referência, como por exemplo: cheiro de peixe, cheiro de terra, vegetal, frutal, medicinal, etc. (MCGINLEY et al, 2000). A Tabela 3, de NUVOLARI et al. (2003), citado em CARMO (2005), apresenta os fatores que devem ser considerados para a caracterização completa de um odor.

Tabela 3 – Fatores considerados para a caracterização completa de um odor

Fator	Descrição
Qualidade ou Caráter	Relaciona as associações mentais feitas pelas pessoas ao sentirem o odor; a determinação pode ser bastante subjetiva.
Detectabilidade ou concentração do odor	O número de diluições exigidas para se reduzir um odor ao mínimo que se pode detectar.
Hedonicidade	A relativa agradabilidade ou desagradabilidade do odor sentido pelas pessoas
Intensidade	A força do odor; normalmente medida com um olfatômetro, tendo como composto de referência o butanol, por diluição até o limiar olfativo.

Fonte: NUVOLARI et al (2003), citado em CARMO (2005).

4.2. SULFETO DE HIDROGÊNIO (H₂S)

Segundo GODISH (1991), o sulfeto de hidrogênio é um gás muito tóxico que possui um odor característico de "ovo podre". É altamente tóxico aos seres humanos, porque se combina com o ferro do citocromo e outros compostos essenciais que contêm ferro na célula (SILVA, 2008). Apesar de sua alta toxicidade, seus efeitos intervêm somente a concentrações dezenas de vezes superiores aos limites de percepção olfativa (CARVALHO, 2001).

O H₂S é resultante da redução biológica do sulfato (SO₄⁻²) ou tiossulfato e é o composto odorante mais comumente associado aos odores do esgoto, embora outros compostos à base de enxofre também possam contribuir para estes odores (VAN LANGENHOVE; de HEYDER, 2001). Segundo Gostelow e Parsons (2000), o H₂S predomina nos odores exalados em estações de tratamento de esgotos por estar presente em concentrações maiores do que a dos outros compostos odorantes.

Souza (2010) descreve que os principais fatores de influência de emanações atmosféricas de H₂S em sistemas de esgotamento sanitário são: (i) o pH e a temperatura; (ii) a taxa de geração e concentração do H₂S; (iv) da turbulência e das taxas de ventilação da superfície do efluente; e (v) da área superficial do líquido exposta à atmosfera.

A Tabela 4, de OSHA et al. (2002), citado por TACLA, (2004) apresenta os sintomas de exposição ao H₂S de acordo com a concentração.

Tabela 4 – Sintomas observados devido à exposição ao H₂S de acordo com a concentração

Concentração de H ₂ S (ppmv)	Sintomas resultantes da exposição
0,3 - 30	O odor é obvio e desagradável
50	Irritação nos olhos, secura e irritação do nariz e garganta
Acima de 50	Irritação do sistema respiratório
100 - 150	Perca temporária do olfato
200 - 250	Dor de cabeça, vômito e náusea. A exposição prolongada pode causar danos ao pulmão. Exposições de 4 a 8 horas podem ser fatais

300 - 500	Ataque rápido dos sintomas, a morte ocorre entre 1 e 4 horas.
500	Dor de cabeça, excitação, travamento, dor no estômago após rápida exposição. A morte ocorre entre meia e 1 hora.
> 600	Rápida perda de consciência, coma e morte.
> 1000	Imediata falha na respiração

4.3. ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO DE ODOR

Existem várias tecnologias aplicadas ao tratamento dos odores utilizando métodos físicos e químicos como oxidação térmica, lavadores químicos, ozonização, adsorção por carvão ativado e métodos biológicos como biofiltração, biolavadores e biopercolação. A tabela 5 apresenta alternativas para tratamento de odores.

Tabela 5 – Alternativas para tratamento de odores

Princípio	Tipos de plantas
Físico	Adsorção
	lavadores de gases
	Membranas seletivas
	Separação criogênica
Químico	Absorção
	Oxidação térmica
	Oxidação catalítica
	Ozonização
Biológico	Biofiltração
	Biopercolação
	Biolavação
	Tratamento com lodo ativado

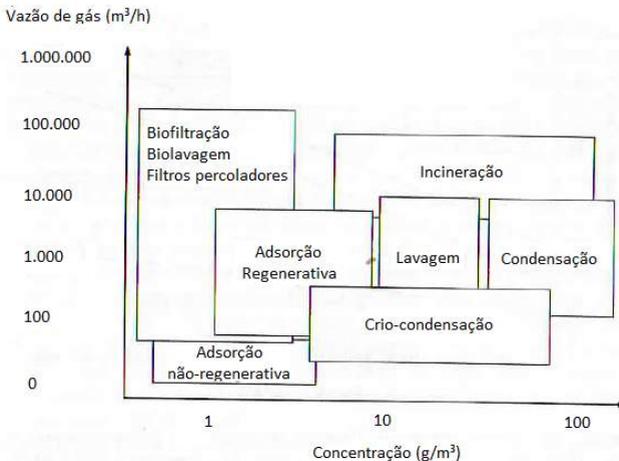
Fonte: Adaptado de Silva, 2008.

Destacam-se entre estes processos a biofiltração. Embora as técnicas físico-químicas possam remover com eficiência os compostos odorantes da corrente gasosa, dentro de certas condições, a necessidade de adição de produtos químicos diariamente e da substituição do adsorvente resulta em custo de operação relativamente alto quando comparados com técnicas de tratamento biológico (POMEROY, 1982 apud MATOS, 2001).

Para a seleção da tecnologia adequada devem-se levar em conta as condições de concentração, vazão e temperatura em que o gás residual é emitido, e a capacidade de tratamento requerida. Relacionando-se a questões financeiras o método deve ter baixo custo de instalação e operação (ROCHA et al. 2004).

A figura 01, adaptada de DEVINNY et al (1999), apresenta a aplicabilidade de cada alternativa de tratamento de odores, de acordo com a vazão do gás a ser tratado em m^3/h e a concentração em g/m^3 .

Figura 1 - Aplicabilidade de várias tecnologias para controle da poluição do ar baseado na vazão e concentração do gás a ser tratado.



Le Cloirec et al. (1991) apresentou a tabela 6, comparando os custos por unidade volumétrica de gás tratado entre diversas tecnologias para tratamento de odores, sendo a biofiltração a mais barata entre todas as analisadas.

Tabela 6 – Custos por unidade volumétrica de gás tratado entre diversas tecnologias de tratamento

Processos	Investimento	Funcionamento	Custo total
	(U\$/m ³ /h)	(U\$/1000m ³)	(U\$/1000m ³)
Incineração Térmica	5,27 a 6,15	0,61 a 0,75	4,0 (custo somente de combustível)
Incineração catalítica	6,15 a 7,03	0,57 a 0,66	-
Adsorção	2,20 a 8,79	0,22 a 0,44	0,66 (inclui regeneração por aquecimento)
Absorção	3,52 a 4,40	0,35 a 0,44	4,2 (combinado com cloro)
Ozonização	2,64 a 3,52	0,18 a 0,26	4,2
Biofiltro	1,32 a 4,40	0,13 a 0,22	0,6

Fonte: LE CLOIREC et al (1991), citado em BELLI FILHO (2001).

4.3.1. Biofiltração

A biofiltração é a passagem de um gás, carregado com poluente, através de um meio suporte úmido, geralmente de origem natural, onde estão fixados os microrganismos. (CHERNICHARO, 2001).

Para Belli filho & Lisboa (1999) e Carvalho et. al. (2001), a técnica de desodorização por biofiltração consiste na passagem do ar com gases odorantes através de um meio suporte, geralmente constituído por materiais orgânicos e inorgânicos, onde os microrganismos ficam aderidos na forma de biofilme. Diversos trabalhos científicos relataram a boa eficiência destas unidades para o tratamento dos gases odorantes liberados em unidades de tratamento de esgoto sanitário. Segundo Arnesen e Sampaio (2013), apesar de demandar uma maior área para sua implantação do que as torres lavadoras, a biofiltração possui como principais vantagens os menores

custos de investimento e operação, maior simplicidade de operação e manutenção e não geração de resíduos químicos que precisem ser tratados e destinados adequadamente.

A biofiltração usa microrganismos fixados em um meio poroso para reduzir poluentes presentes no ar. Os microrganismos crescem em um biofilme formado na superfície do meio, ou suspenso em meio aquoso que envolve as partículas do meio. Enquanto o ar passa através do leito, os contaminantes contidos no ar são adsorvidos pelo biofilme existente no meio filtrante, onde são degradados. Biofiltros não são definidos unicamente como filtração, estes sistemas usam uma combinação básica de processos, que incluem absorção, adsorção, degradação e dessorção dos contaminantes em fase gasosa. (DEVINNY et al, 1999).

De acordo com Chernicharo (2010), dentre as técnicas existentes, os biofiltros são os que reúnem o maior conjunto de vantagens para o tratamento de gases residuais emitidos de reatores anaeróbios para tratamento de esgoto doméstico quando considerados fatores como sustentabilidade, simplicidade e baixos custos de implantação e operação.

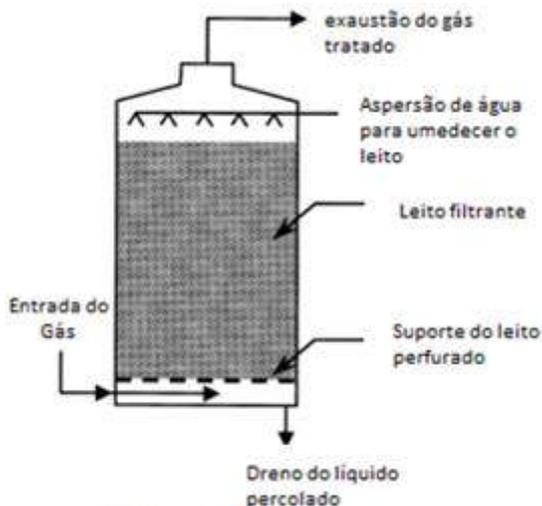
A tabela abaixo, adaptada de DEVINNY et. al. (1999), lista as vantagens e desvantagens do sistema de biofiltração.

Tabela 7 - Vantagens e desvantagens da biofiltração no tratamento de odores

Vantagens	Desvantagens
Baixos custos de implantação e operação	Meio filtrante com durabilidade temporária
Elevada remoção efetiva de compostos	Não adequado para altas concentrações
Baixa perda de carga	Dificuldade de controle de umidade e pH
Não gera efluente	Partículas sólidas podem colmatar o meio filtrante

Fonte: Adaptado de DEVINNY et. al. (1999)

A Figura 2, adaptada de WEF/ASCE (1995), apresenta um Esquema de um biofiltro fechado.

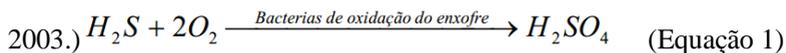
Figura 2 - Esquema de um biofiltro fechado

Fonte: WEF/ASCE (1995)

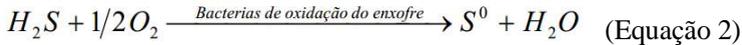
4.3.1.1. Mecanismo de oxidação dos compostos odorantes empregado na biofiltração

Seu princípio reproduz os processos de absorção, adsorção e degradação microbiana, que são realizados naturalmente nos solos e nas águas. Os processos biológicos de tratamento de gases consistem na transferência de compostos voláteis, com maus odores, para uma fase líquida e, em seguida, na degradação, por meio de microrganismo (BELLI FILHO et al, 2001).

A oxidação do H_2S é feita principalmente por bactérias do gênero *Thiobacillus* e alguns fungos, que usam o enxofre como uma fonte de energia e convertem o gás sulfídrico em ácido sulfúrico (H_2SO_4), conforme a equação 1. (YANG et. Al, 2002, citado em CABRAL,



Em condições desfavoráveis, a oxidação pode ocorrer apenas parcialmente, obtendo-se como produto final o enxofre elementar, conforme a equação 2 (CABRAL, 2003).



4.3.1.2. Meios suportes utilizados

Segundo Burgess (2001), as propriedades necessárias que um meio suporte para biofiltros deve conter são a uniformidade do tamanho das partículas, elevada porosidade, possuir partículas com grande área superficial, possuir alguma capacidade de tamponamento do pH, possuir habilidade para suportar microrganismos, etc. Segundo WEF/ASCE (1995), os meios suportes mais utilizados são o solo e o composto. Burgess (2001) apresentou alguns meios suportes utilizados por diversos autores, conforme listado abaixo:

- Turfa (Rothenbühler et al., 1995; WEF/ASCE, 1995; Kennes and Thalasso, 1998; Wang et al., 1996; Zilli et al., 1996);
- Solo (WEF/ASCE, 1995; Kennes and Thalasso, 1998);
- Composto (WEF/ASCE, 1995; Kennes and Thalasso, 1998);
- Areia (WEF/ASCE, 1995);
- Lixo doméstico (Tang et al., 1996);
- Lodo de esgoto digerido (Morgenroth et al., 1996; Tang et al., 1996);
- Subprodutos Florestais (Morgenroth et al., 1996; Veir et al., 1996);
- Biossólidos de águas residuárias (Veir et al., 1996);

4.3.1.3. Biofiltros e projetos instalados, parâmetros utilizados e eficiência obtida

Arnesen e Sampaio (2013) avaliaram um biofiltro com leito de fibra de coco e cavaco de madeira, implantado na Estação de Tratamento de Esgoto de São Miguel, na Região Metropolitana de São Paulo, para tratar os gases odorantes (especialmente o H₂S) emitidos na estação elevatória de esgoto bruto.

O biofiltro por eles operado tratou 1300 m³/h de gases odorantes e se mostrou bastante eficiente, sendo que as concentrações de entrada variaram de 1 a 26 ppm de H₂S e a saída, na grande maioria do tempo ficou abaixo de 1 ppm, que era o limite de detecção do equipamento de medição utilizado.

Também foi apresentada pelos autores, uma avaliação dos custos de investimento e operacionais desta unidade, comparando-os com os custos de uma torre lavadora de gases. Os resultados da operação do biofiltro demonstram que esta alternativa é aproximadamente 35% mais econômica que a torre lavadora de gases, além de comprovar sua simplicidade operacional e elevada capacidade de remoção de H₂S. Foi utilizada neste projeto, uma taxa de aplicação superficial de irrigação de 3,8 L/m².dia.

Carvalho et. al. (2001) desodorizou usando um biofiltro piloto com leito de turfa orgânica natural, gases provenientes de um reator anaeróbio tipo tanque séptico de 10m³, que tratava efluentes provenientes do restaurante universitário da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. A umidade do piloto era mantida visualmente, através de um visor externo. Quando se verificava que o nível d'água baixava, imediatamente esta era completada a fim de garantir um apropriado teor de umidade no meio filtrante. Foram realizados 4 ensaios utilizando o piloto, adotando taxas de aplicação superficial de gás odorante de 25, 32, 40 e 60 m³/m².dia. O autor verificou que a variação da taxa de aplicação do gás não interferiu na eficiência do biofiltro. Nas análises químicas, foram obtidas concentrações máximas de H₂S de 0,314 mg/m³ na entrada do biofiltro e 0,007mg/m³ na saída o que corresponde a 98% de eficiência. Para NH₃ a concentração máxima obtida foi 0,180 mg/m³ na entrada do biofiltro e 0,035 mg/m³ na saída obtendo eficiência de 80%. A concentração máxima obtida de COVs foi 0,291 mg/m³ na entrada do biofiltro e 0,064 mg/m³ na saída, correspondendo a 78% de eficiência. A análise olfatométrica apresentou redução de intensidade odorante com valores de entrada médio a forte e saída fraco a médio, obtendo-se uma boa redução dos odores no processo de biofiltração.

A tabela 8 apresenta alguns resultados obtidos em tratamento de H₂S por biofiltração na bibliografia internacional.

Tabela 8 – Resultados obtidos em tratamento de H₂S por biofiltração na bibliografia internacional

Autor	Eficiência	Concentração do gás tratado	Capacidade de eliminação	Meio filtrante	OBS
-	(%)	(mg/m ³)	(g/h)	-	-
Bonnin et al, 1994	99	-	240	Turfa	
Brennan et al, 1996	99	83	8,3	Turfa	Escala piloto
Cho et al, 1991	-	-	590	Turfa	
Cho et al, 1991	-	-	1200	Turfa	
Cho et al, 1992	-	-	340	Turfa	
Chung et al, 2000	95	60 (ppm)		Bactéria Imobilizada	
Chung et al, 2001	>90	-	-	Bactéria heterotrófica imobilizada	
Ergas et al, 1995	99,99	28	420	Leito de composto, piloto	
Hirai et al, 1990	-	-	610	Turfa	
Kowal et al, 1992	100	-	200-12000	Lodo ativado seco	
Luo et al, 2001	29,7-99,9	143100-890000 UO/m ³	-	Diferentes meios	
Malhautier et al, 2003	80	-	680	Lodo granulado	
Mcnevin et al, 1999	99	32	10	Turfa	Escala piloto
Mcnevin et al, 2000	-	0,0308	2,4	Composto, casca de árvore	
Nicola et al, 2001	67,5-83,2	-	< 150 UO/m ³	Composto e mistura de cavaco de madeira	
Park et al, 2001	>95	3,2-5,5	-	Cerâmica porosa	
Pinjing et al, 2001	>98	200-1300	6500	Grãos celulares imobilizados	

Shojaosada ti et al, 1999	99	154	22	Composto	Escala piloto
Yang and Allen, 1994	99,9	369	3120	Composto	Escala piloto
Zhang et al, 1991	-	-	730	Turfa	
Zhang et al, 1991	-	-	360	turfa	

Fonte: Adaptado de MOOSAVI, G. R. et al. (2005).

4.3.1.4. Fatores limitantes e critérios de projeto

a) Umidade

De acordo com Belli Filho et al. (2001), para a atividade biológica e a absorção do gás, é indispensável uma umidade de 40 a 60 %.

Segundo Von Bernuth et al. (1999), citado em Cabral (2003), a manutenção de uma atividade microbiana requer níveis de umidade de 40 a 70%. A umidade demasiada pode causar compactação do meio filtrante, tendo como consequência baixa porosidade, queda de pressão e um fluxo de ar comprometido.

b) Temperatura

A escala de temperatura para biofiltração varia de 15 a 40° C (LE CLOIREC et al, 1991), com a temperatura ótima entre 30 e 40°C, de acordo com Leson e Winer, citado em Cabral, 2003. Segundo Burgess (2001), a temperatura ótima de operação é 37°C. A queda da temperatura para menos de 10°C, causa uma perda parcial na eficiência do biofiltro (LE CLOIREC et al, 1991).

c) pH

Considerando que os produtos a serem degradados geralmente são ácidos (gás sulfídrico e halogenados), é aconselhado corrigir o pH para valor neutro (LE CLOIREC et al., 1991; BURGESS, 2001).

Estudos realizados por SHOWENGERDT et al., 2000, citado por Cabral (2003), indicam, entretanto, que a biodegradação do gás sulfídrico não é afetada por um pH na faixa de 1-2.

Algumas espécies do gênero *Thiobacillus* são capazes de oxidar o gás sulfídrico a níveis baixos de pH, *Thiobacillus thiooxidans*, em particular, cresce em um ambiente de pH menor que 3.0 e não inibe seu

crescimento até que o pH alcance um valor menor que 1,0. (DEVINNY et. al., 1999).

d) Carga volumétrica de gás odorante

Após a realização de estudos piloto, Belli Filho et. al. (2001) determinou a carga volumétrica “Cv” de H₂S contida no gás odorante, que na prática varia de 10 a 100 g/m³.h..

e) Taxa de aplicação superficial de irrigação

Cabral (2003) utilizou em seu biofiltro piloto com leito de turfa uma taxa de aplicação superficial de irrigação de 34 L/m².d

Chernicharo et. al. (2011) recomenda uma taxa de aplicação superficial de irrigação de 25 L/m².dia.

Em seu projeto, Arnesen e Sampaio (2013) concluíram que a melhor taxa de aplicação superficial para um biofiltro com leito de fibra de coco e cavaco de madeira é 3,8 L/m².dia.

f) Nutrientes

Segundo Van Langenhove e De Heyder (2001), citado em Cabral (2003), os elementos inorgânicos tais como N, P e outros micro elementos tais como K, Ca e Mg são vitais para a síntese de células microbiais. A proporção peso em massa microbiana é aproximadamente igual a C:N:P:K = 50:10:4:1.

g) Vida útil do leito filtrante

Para Schmidt et al., (2000), citado em Cabral (2003), a vida do meio filtrante é limitada, variando entre 3 a 5 anos.

A durabilidade do meio filtrante depende do tipo de substrato utilizado, podendo variar de dois até mais de 30 anos, sendo que para a turfa a durabilidade média é de 2 a 4 anos. (DEVINNY et al, 1999).

h) Número de renovações

De acordo com a NBR 12209/2011, o dimensionamento de biofiltros deve ser feito levando-se em consideração o espaço confinado que foi isolado e de onde os gases odorantes serão succionados. Deve-se atribuir um número mínimo de renovações do espaço confinado em questão, que culminará na vazão nominal do equipamento.

5. METODOLOGIA

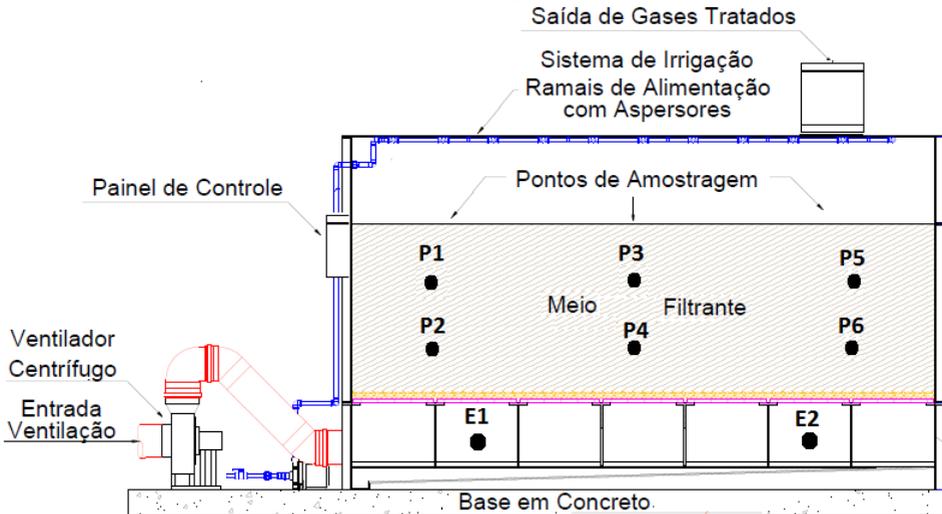
5.1. O BIOFILTRO

O biofiltro avaliado neste trabalho faz parte de um projeto de subvenção econômica da FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) e desenvolvido pela Multiáguas Engenharia Ambiental LTDA, de Blumenau – SC, em parceria com a Universidade Federal de Santa Catarina. O equipamento foi instalado na estação elevatória de esgotos Ponta do Leal, de propriedade da CASAN, localizada junto ao CIOM (Centro Integrado de Operação e Manutenção), no bairro Estreito, em Florianópolis (Figuras 3 e 4).

Figura 3 - Vista frontal do biofiltro



Figura 4 – Esquema da vista lateral do biofiltro e pontos de inspeção.



Trata-se de uma unidade modulada de biofiltração para remoção de odores, estruturada em aço carbono galvanizado à fogo e com paredes, fundo e telhado em polipropileno com 3,5 metros de comprimento por 1,7 metros de largura, totalizando uma área superficial de aproximadamente 6 m². Optou-se pela construção do biofiltro modulado para facilitar a implantação do equipamento no local, possibilitar o transporte para outros locais, além de facilitar a comercialização, por já ser adquirido pronto, sem necessidade de obras no local da instalação.

O equipamento possui formato quadrado para reduzir o espaço necessário para instalação e ainda facilitar a implantação de novos módulos em futuras ampliações do sistema.

O material filtrante utilizado neste sistema foi a turfa natural. A camada de turfa está assentada sobre uma camada suporte de 15 cm de cavaco de madeira e possui espessura de 1m, sendo constituída de 6 m³ de turfa granulada tipo flor, com diâmetro dos grãos variando entre 7 e 12mm.

A sucção dos gases era feita por um ventilador centrífugo industrial de 0,5 CV de potência, com carcaça e rotor fabricados em fibra de vidro para resistir aos gases corrosivos, dotado de um inversor de frequência para que se possa regular a vazão do gás conforme a

necessidade. A irrigação do sistema foi feita utilizando água da rede pública de abastecimento, recalçada por uma bomba centrífuga de $\frac{3}{4}$ CV de potência, que era acionada automaticamente. A água de irrigação foi disposta sobre o leito filtrante por micro aspersores, para uniformizar a irrigação de toda a superfície do leito filtrante. O sistema de automatização da irrigação é formado por duas sondas da marca Rainbird, que medem a umidade relativa, condutividade e temperatura da turfa. O acionamento da bomba foi comandado por estes sensores, de modo que quando a umidade da turfa atingia um valor crítico pré-estabelecido, o aparelho enviava um sinal para um temporizador que acionava a bomba por um tempo também pré-estabelecido.

O gás odorante a ser tratado foi succionado da estação elevatória pelo ventilador centrífugo e admitido no biofiltro através de um fundo falso e uma camada de cavaco de madeira, onde ocorria uma distribuição uniforme do gás. Então o gás percorria a camada de turfa que continha os microrganismos que degradam os compostos odorantes contidos no gás, e era posteriormente eliminado por uma chaminé localizada na parte superior do biofiltro.

O biofiltro possui um dreno inferior que é dotado de uma válvula manual de PVC do tipo esfera, destinado à coleta de efluente percolado, que é a sobra da água de irrigação aspergida sobre o leito de turfa. É dotado ainda de diversos pontos de inspeção localizado em uma de suas laterais, tais pontos foram utilizados para a medição da concentração de H_2S e ainda para a coleta de turfa para realização de ensaios.

A unidade, após projetada e construída, foi implantada junto à estação elevatória Ponta do Leal, da CASAN, localizada junto ao CIOM (Centro Integrado de Operação e Manutenção) no bairro Estreito, Florianópolis. A estação elevatória recebe os esgotos provenientes de muitas residências, não sendo ao certo quantificadas, porém considera-se esta como uma elevatória de grande porte, recalçando grandes vazões de esgotos e conseqüentemente, grandes vazões de gases odorantes, porém, a uma concentração relativamente baixa. Esta estação foi escolhida por estar inserida em uma localidade com muitas residências e junto ao CIOM, onde trabalham muitas pessoas, que historicamente sofriam com os odores exalados pela estação elevatória.

5.2. DIMENSIONAMENTO DO BIOFILTRO

O dimensionamento do biofiltro avaliado foi feito de acordo com o número de renovações do ambiente confinado, que neste caso é o poço úmido da estação elevatória Ponta do Leal, que possui um volume de

aproximadamente 142 m³. Determinou-se um número mínimo de 5 renovações de ar por hora do poço úmido da elevatória, o que culminou em uma vazão nominal de aproximadamente 720 m³/h.

5.3. OPERAÇÃO DO BIOFILTRO

A operação do biofiltro foi bastante simplificada devido à sua automatização. A operação consistiu em ajustar os padrões de acionamento da bomba, tempo de funcionamento da bomba, e vazão do gás odorante, embasado em análises feitas em laboratório, buscando constantemente melhorar a eficiência do sistema.

O controle da vazão do gás foi feito através de um inversor de frequência instalado junto ao ventilador, permitindo assim alterar a rotação do ventilador, e assim variar a vazão do gás odorante, caso se julgasse necessário.

5.4. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

5.4.1. Concentração de H₂S

A medição da concentração de H₂S foi feita utilizando um aparelho importado da marca Jerome, modelo 631-X (figura 5), fabricado pela Arizona Instruments, que mede concentrações de H₂S em uma faixa de valores de 0,001 a 50 PPM.

Figura 5 - Fotografia do medidor de H₂S Jerome 631-X.



Este equipamento faz uma leitura indireta da concentração de H_2S a qual ele está submetido através da medição da resistividade elétrica de um fio de ouro, visto que é sabido que o ouro varia sua resistividade elétrica proporcionalmente à concentração de H_2S à qual ele está submetido.

As medições em todos os pontos foram feitas em triplicata, sendo considerada posteriormente a média entre os três valores obtidos, visando diminuir os possíveis erros na medição. Foram feitas medições de concentração de H_2S em 3 pontos no ambiente próximo ao biofiltro, em três pontos da entrada do gás, na chaminé por onde o gás tratado é expelido para a atmosfera e em 6 pontos localizados em uma das laterais do biofiltro, conforme pode ser visto na figura 4 apresentada anteriormente, sendo 3 pontos localizados a uma altura de 0,30 metros, e 3 pontos localizados 0,60 metros ambos a partir do início da camada filtrante.

As medições dos pontos de inspeção correspondentes ao meio da camada e à entrada do biofiltro foram feitas por meio de um adaptador, que visa selar o sistema, e não gerar um fluxo de gás no ponto em que se está medindo, garantindo assim que o fluxo de gás não possa influenciar na medição realizada pelo Jerome.

A frequência de medição foi diária, excetuando-se os finais de semana.

5.4.2. Vazão de gás tratada

A vazão de gás tratada foi medida com um termo anemômetro da marca KIMO, modelo MP-200 (figura 6). De posse dos dados de vazões de gás tratada pôde-se determinar o tempo de contato entre o gás odorante e o material filtrante, que é um critério de projeto de sistemas de biofiltração para tratamento de odores e muito influencia na eficiência destes sistemas. Além disto, através da correlação entre a eficiência de remoção e a vazão de gás tratada pode-se determinar a taxa de remoção efetiva de H_2S em gramas por dia, por exemplo.

Figura 6 - Termo anemômetro KIMO MP-200 utilizado na medição de vazão de gases odorantes.



5.4.3. Caracterização da turfa *in situ*

Foi feita durante o monitoramento do sistema, a caracterização da turfa *in situ*, de modo a se obter as condições atuais de operação do equipamento.

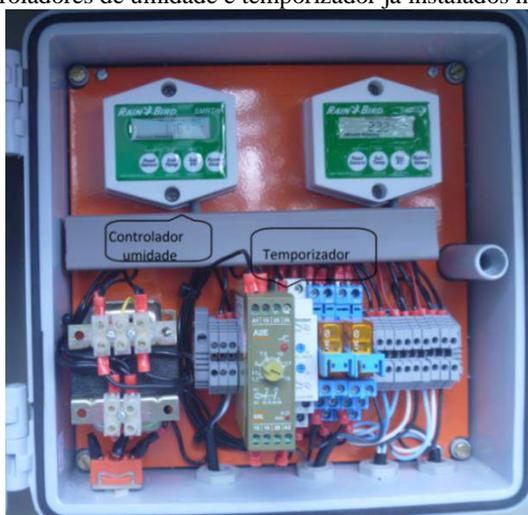
Com o auxílio de um controlador de solos automatizado da marca Rainbird, modelo SMRT-Y, que utiliza um sensor de umidade de solo por transmissometria de análise temporal digital, monitorou-se instantânea e automaticamente durante todo o período da avaliação do sistema. Isto auxiliou na redução da manutenção e mão-de-obra de operação do equipamento. O controlador utilizado possui uma sonda que fica enterrada no meio da turfa, a 50 cm de profundidade, ou seja, no meio da camada filtrante, e efetua leituras de umidade da mesma de 10 em 10 minutos, sendo que quando detectada uma umidade menor do que a mínima determinada pelo operador, o equipamento envia um sinal para um temporizador que ativa a bomba para que haja uma irrigação do leito filtrante. O tempo que a bomba fica acionada também é variável, e deve ser determinado pelo operador e ajustado no temporizador localizado junto ao painel elétrico do equipamento. Além de fornecer a umidade, também é o Rainbird SMRT-Y que fornece os dados de temperatura e condutividade da turfa.

A leitura dos dados do Rainbird foi feita diariamente, excetuando-se os finais de semana.

Figura 7 - Ilustração do controlador de umidade SMRT-Y e sua respectiva sonda



Figura 8 - Controladores de umidade e temporizador já instalados no biofiltro



5.4.4. Umidade real da turfa

A umidade real da turfa foi determinada através de análises laboratoriais das amostras, que foram realizadas no laboratório Integrado do Meio Ambiente (LIMA), do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS). A determinação da umidade real foi feita de acordo com o Standard Methods, utilizando o procedimento para determinação dos sólidos totais, onde a umidade é determinada subtraindo-se os sólidos totais de 100%. As determinações de umidade real foram feitas sempre com doze amostras, duas por cada um dos seis pontos de inspeção. O procedimento consistiu em coletar as amostras *in situ*, acondicioná-las em sacos plásticos fechados para evitar a perda de umidade por evaporação e levá-las ao laboratório, onde foram maceradas para reduzir sua granulometria e facilitar a secagem, colocadas em cadinhos, que foram pesados em uma balança de quatro dígitos de precisão, e então levados à estufa a 105°C por aproximadamente 24 horas, sendo estes posteriormente retirados, colocados em dessecador para que esfriassem e posteriormente foram pesados. As umidades foram obtidas utilizando a equação 3 e 4, apresentadas abaixo. A determinação da umidade real da turfa foi feita semanalmente.

$$\text{SólidosTotais} = \frac{(A - B) * 100}{(C - B)} \quad (\text{Equação 3})$$

$$\text{UmidadeReal} = (100 - \text{SólidosTotais}) \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

- B = Peso do cadinho;
- C = Peso do cadinho mais a turfa úmida;
- A = Peso do cadinho mais a turfa seca.

5.4.5. Medição do volume de água irrigado

A medição do volume de água irrigado foi feita a partir da leitura do volume acumulado registrado em um hidrômetro da marca Itron,

modelo multimage cyble, de vazão nominal de 3,5 m³/h, instalado na linha de recalque da bomba, entre a bomba e os aspersores. O volume irrigado entre as duas medições do volume acumulado foi obtido pela diferença entre as duas medições. Esta medição foi feita diariamente, excetuando-se os finais de semana.

5.4.6. Taxa de aplicação superficial de água para irrigação

A partir do volume de irrigação lido no hidrômetro, do tempo em que estes dados foram lidos e da área do biofiltro, determinou-se a taxa de aplicação superficial de água (TAA), conforme equação 5. Esta taxa é um parâmetro de projeto e pode ser utilizada para operação de outros biofiltros.

$$TAA = \frac{\text{vol}_{-}\text{água}_{-}\text{aplicado}}{(\text{tempo}) * (\text{área})} \quad (\text{Equação 5})$$

5.4.7. Taxa de aplicação superficial de gás odorante

A taxa de aplicação superficial do gás odorante (TAG) foi determinada a partir da vazão média de gás odorante medida e da área superficial do biofiltro, conforme a equação 6.

$$TAG = \frac{\text{Vazão}_{-}\text{média}_{-}\text{gás}}{\text{Área}} \quad (\text{Equação 6})$$

5.4.8. Taxa de remoção mássica

Obtendo-se a média das concentrações de H₂S de entrada e saída e ainda a vazão média de gás tratado, determinou-se a taxa de remoção mássica diária, conforme a equação 7.

$$TRM = ([]_{\text{entrada}} - []_{\text{saída}}) * \text{Vazão} \quad (\text{Equação 7})$$

5.4.9. pH do percolado extraído

A medição do pH foi realizada sempre que extraído efluente percolado do dreno de fundo do biofiltro. Esta medição foi feita a título de monitoramento do efluente gerado, para poder classificá-lo e saber

qual seu destino final mais apropriado. A medição foi realizada no laboratório da CASAN, utilizando um pHmetro de bancada.

5.4.10. Análises olfatométricas

As análises olfatométricas são extremamente necessárias para caracterizar um odor, visto que o nariz humano é o único capaz de caracterizar exatamente um odor. Para a realização das análises olfatométricas, foi selecionado um júri formado por 12 pessoas, que foram questionadas e submetidas a alguns testes, a fim de melhor caracterizar os odores sentidos. Foram analisadas amostras de gás odorante da entrada do biofiltro e na chaminé, logo após o tratamento, além da análise do odor sentido nas proximidades do CIOM-CASAN.

5.4.10.1. Hedonicidade e caráter odorante

A Hedonicidade de um odor é a medida do grau de agradabilidade ou desagradabilidade de um odor, ou seja, é uma característica do odor quanto a ser ou não prazeroso senti-lo. O caráter odorante é uma opinião pessoal do jurado, quanto ao que o odor que ele está sentindo o faz lembrar. Cita-se como exemplo de caráter odorante, o cheiro de ovo podre, peixe podre, queimado, urina, esgoto, entre outros. A avaliação da Hedonicidade e do caráter odorante dos odores foi feita através da aplicação de um questionário, ao júri olfatométrico. O questionário, que é apresentado no anexo I deste trabalho, foi norteado pelas metodologias olfatométricas para avaliação do impacto odorante publicadas pelo LCQAr (Laboratório de Controle de da Qualidade do Ar, do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina).

5.4.10.2. Intensidade odorante

A avaliação da intensidade odorante é feita através de uma comparação do odor que se deseja avaliar com uma solução padrão de 1-Butanol. Foram preparados 5 frascos contendo soluções às diferentes concentrações de 1-Butanol diluídas em água destilada, o que conferiu em cada frasco uma intensidade odorante, que variou de muito fraco à muito forte, de acordo com a concentração de 1-Butanol contido na amostra, conforme a tabela 9. A cada júri foram apresentadas as 5 soluções de 1-Butanol, ficando eles então calibrados e aptos a analisar as amostras do gás odorante, avaliando apenas a intensidade do odor, e não a qualidade ou agradabilidade. Os dados de intensidade odorante foram obtidos através da aplicação de um questionário respondido pelos

jurados. Esta avaliação seguiu o procedimento recomendado pela norma americana ASTM E-544-75 (1997). O questionário aplicado é apresentado no anexo II deste trabalho.

Tabela 9 – Níveis de Intensidade de odor

Nível de Intensidade	Concentração de 1- Butanol (g/L)	Intensidade odorante
1	0,001	Muito fraco
2	0,01	Fraco
3	0,1	Médio
4	1,0	Forte
5	10	Muito forte

Fonte: Adaptado de Belli Filho e Melo Lisboa, 1998.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

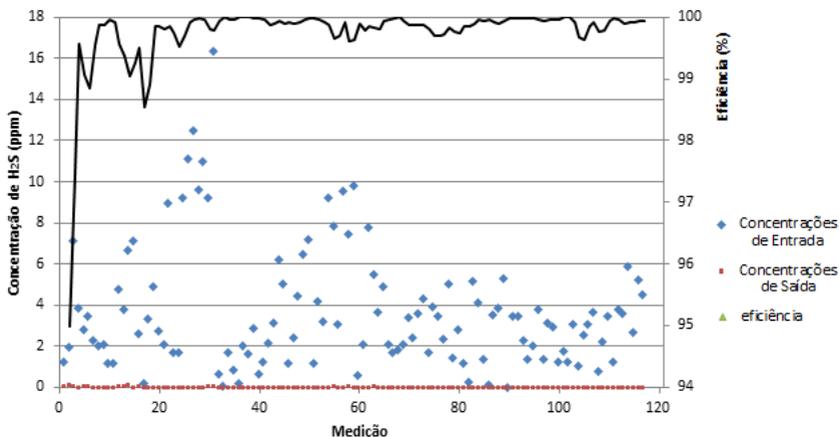
6.1. CONCENTRAÇÕES DE H₂S MEDIDAS E EFICIÊNCIA DO SISTEMA

As medições de H₂S foram feitas em todos os pontos de inspeção, bem como no duto de sucção de gases, chaminé e alguns pontos no ambiente próximo ao biofiltro.

A medição da concentração do gás nos pontos de inspeção intermediários P1, P2, P3, P4, P5 e P6, (ver figura 4), foi utilizada na operação do biofiltro como um auxílio na localização de eventuais falhas que estivessem ocasionando perdas de eficiência global do sistema. Sempre durante o monitoramento do sistema, uma avaliação preliminar da eficiência das camadas foi feita, sendo que se observado que uma das camadas de turfa possuía eficiência de remoção de H₂S abaixo do esperado, este seria um indicativo que algo errado estaria acontecendo naquele ponto. Isto possibilitou a localização de problemas no leito filtrante, como a formação de caminhos preferenciais de passagem de gás. Com o monitoramento destes pontos intermediários, observando uma perda da eficiência de remoção da primeira camada de turfa, constatou-se a existência de um buraco no leito filtrante, que gerava um caminho preferencial dos gases, ocasionando uma perda de eficiência do sistema. A decisão tomada foi realizar um revolvimento de toda a camada filtrante, para uniformizar novamente o leito, procedimento realizado no dia 11 de setembro de 2013, e que surtiu os efeitos desejados.

A medição das concentrações de entrada (pontos E1, E2 e tubo de sucção), quando comparadas com a medição da concentração de saída (chaminé) do sistema, possibilita a determinação da eficiência de remoção de H₂S pelo sistema, que por ser o composto mais expressivo na composição dos odores dos gases tratados, pode-se utilizar a eficiência na remoção deste composto como a eficiência global do sistema na remoção de odores. A figura 9 ilustra através de um gráfico as medições de concentrações de H₂S de entrada e saída e ainda a eficiência de remoção obtida.

Figura 9 – Gráfico concentrações de entrada e saída e eficiência de remoção de H_2S .



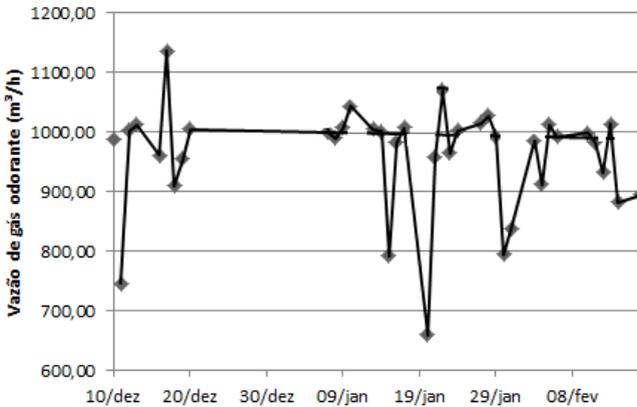
A partir das concentrações de H_2S medidas e apresentadas na tabela 9, determinou-se as concentrações médias durante toda a operação do sistema, que ficaram em 3,67 ppm na entrada e 0,008 ppm na saída, o que configura uma eficiência média de 99,74% de remoção de H_2S . Observa-se no gráfico apresentado na figura 8, que a eficiência do sistema se manteve na maioria do tempo superior a 99%, salvo o início da operação, onde o sistema se encontrava em processo de aclimação.

Considerou-se o período compreendido entre o início da operação e a reposição da camada de turfa que havia adensado, como o período de aclimação do sistema, compreendido entre 10/06 e 12/08, que engloba as medições de H_2S de 1 a 7.

6.2. VAZÕES DE GÁS ODORANTE ADMITIDO

Os dados coletados de vazão de gás odorante admitido no biofiltro estão apresentados na figura 10.

Figura 10 - Gráfico Vazão de gás odorante ao longo do tempo



Observando o gráfico acima, percebe-se que a vazão de gás odorante à qual o sistema ficou submetido pouco variou, exceto em alguns pontos isolados. Esta tendência à constância da vazão de gás odorante já era esperada e se deve a não variação da frequência de operação do ventilador centrífugo, que operou sempre em 40 hz, e como o período de medição foi bem curto, uma variação da vazão causada por um aumento na perda de carga do sistema em função do adensamento do leito também não poderia ser observada. A vazão de gás odorante média tratada ficou em 961,67 m³/h, um valor bem superior ao valor de projeto do sistema que foi 720 m³/h. A partir dos dados de vazão, e sabendo-se o volume de turfa que compõe o leito filtrante, neste caso 6 m³, determina-se o tempo de contato do gás odorante com o leito, que em média ficou em 22,7 segundos, um tempo bem curto em relação ao projetado. Pôde-se determinar também a taxa de aplicação superficial de gás, que ficou em 160 m³/m².h. O número de renovações de ar por hora do ambiente confinado, a partir do volume deste ambiente e da vazão média encontrada, ficou em 6,75 renovações por hora.

Foi visível neste estudo, que mesmo operando com vazão superior à de projeto, e por consequência, um tempo de contato baixo, o sistema ainda operou com eficiência de remoção de H₂S muito elevada, o que prova a eficiência deste tipo de sistema de tratamento de odores.

Determinou-se também a remoção média de H₂S durante o período em que a vazão de gás tratado foi medida (entre 10 de dezembro e 17 de fevereiro), e se constatou que em média foram removidos 103,13 gramas de H₂S por dia, e considerando que o limiar olfativo

deste gás é de $0,0001 \text{ mg/m}^3$, proposto por Belli Filho (2001), pode-se afirmar que seriam necessários mais de um bilhão de metros cúbicos de ar atmosférico para diluir o H_2S removido em um único dia de operação do sistema para que o odor gerado pela elevatória não pudesse ser sentido. Isto explica a significativa redução do odor sentido nas proximidades da elevatória.

6.3. TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

Os dados de volume irrigado obtidos através do monitoramento do volume acumulado registrado pelo hidrômetro foram utilizados na determinação da taxa de irrigação do biofiltro. A taxa de aplicação superficial de água ficou em $5,18 \text{ L/m}^2\text{.d}$, um valor relativamente próximo ao determinado por Arnesen e Sampaio (2013), de $3,8 \text{ L/m}^2\text{.d}$, porém bem abaixo do valor proposto por Chernicharo (2011), de $25 \text{ L/m}^2\text{.d}$ e também abaixo do determinado por Cabral (2003), de $34 \text{ L/m}^2\text{.d}$.

6.4. EFLUENTE PERCOLADO

No início da operação do biofiltro, não foi feito o monitoramento do percolado, porém depois de certo tempo resolveu-se monitorar o volume de percolado extraído e o pH do mesmo. Foram extraídos em média, 2,46 litros de percolado por dia, e o pH variou de zero à 4,5, ficando em média em 1,01.

Como foi observado que o pH do efluente estava excessivamente baixo, o que já era esperado, pois a degradação do H_2S forma H_2SO_4 (ácido sulfúrico), o referido efluente começou a ser lançado no poço úmido da elevatória, pois apesar de possuir um pH extremamente baixo, seu volume é irrisório quando comparado com o volume de esgoto que passa pela elevatória, ocorrendo então uma diluição, o que provavelmente afetou nada ou muito pouco o pH do esgoto.

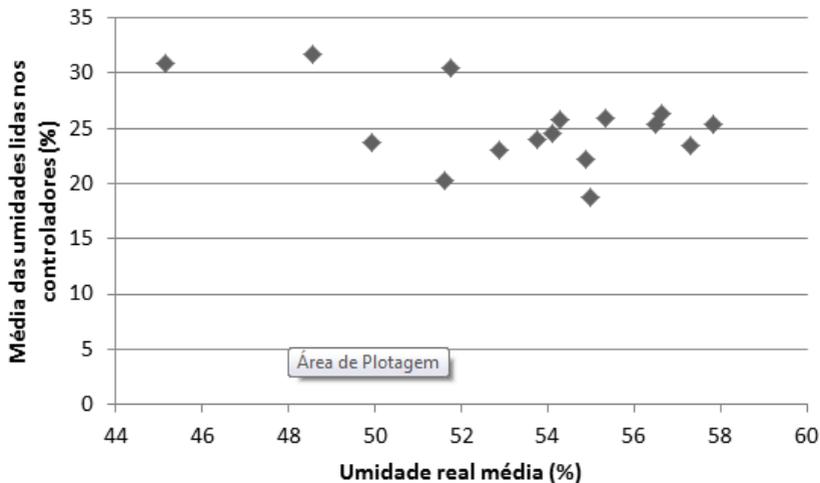
6.5. UMIDADE REAL DA TURFA

Após ser colocado em funcionamento, percebeu-se que os controladores de umidade instalados no sistema apresentavam valores para a umidade da turfa muito inferiores ao real, o que acarretou na necessidade da realização de análises laboratoriais de umidade, para que se encontrasse um valor de umidade, que quando atribuído ao

controlador de umidade, fosse capaz de atribuir ao biofiltro uma irrigação tal que mantivesse a umidade da turfa dentro da faixa ótima, entre 40 e 60%. Buscou-se fazer alguns ensaios de umidade em laboratório e compará-los com a umidade lida no controlador de umidade, para que se obtivesse uma curva de calibração do equipamento, porém, provavelmente por adensamento da turfa, ou algum outro fator não analisado, esta curva não apresentou a linearidade esperada, e com o tempo, a umidade lida pelo controlador foi aumentando, mesmo que a umidade real se mantivesse constante. No início, trabalhou-se com uma umidade limite para irrigação de 5% no controlador, o que conferia ao sistema uma boa umidade real, entre os limites de 40 e 60%. Porém com o passar do tempo, o sistema não conseguiu manter a umidade do leito, sendo necessário aumentar a umidade padrão de acionamento gradativamente, sendo que no final do estudo esta já se encontrava em 30%. Os dados de umidade real foram utilizados para a tomada de decisão em alterar ou não a umidade crítica de acionamento do Rainbird, ou seja, quando detectada no ensaio de umidade real, uma umidade abaixo do esperado para a turfa, aumentou-se o padrão de acionamento da bomba geralmente em 2,5%, e reduziu-se em 2,5% quando detectado que a turfa encontra-se com a umidade acima da faixa ótima.

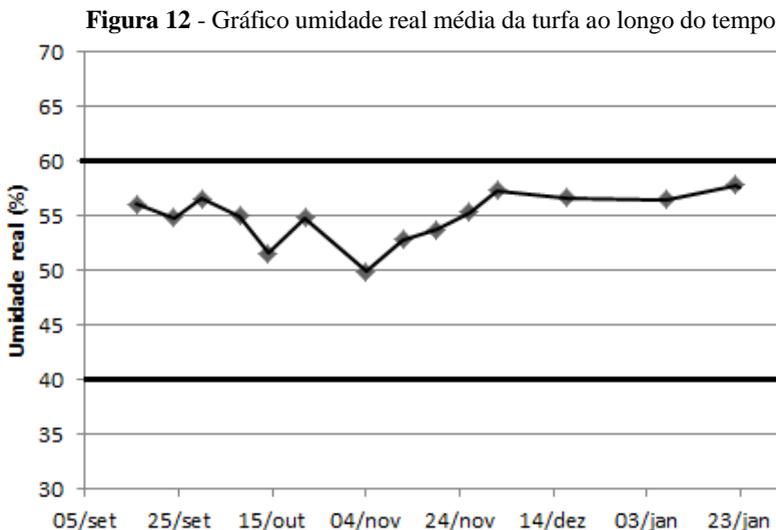
Abaixo segue a curva umidade real versus umidade lida no controlador.

Figura 11 - Curva de calibração dos controladores de umidade



Percebe-se a incoerência da curva gerada, o que impossibilita a calibração do sistema e obtenção da umidade real simplesmente verificando a umidade lida instantaneamente pelo sensor. Por esta razão, continuou-se verificando a umidade real em laboratório semanalmente.

A figura 12 apresenta uma curva de umidade média dos 6 pontos ao longo do tempo que foi gerada para facilitar a visualização da manutenção da umidade no sistema.



Pode-se observar que no gráfico, além da curva de umidade média, têm-se também duas retas, que são os limites de umidade superior e inferior, 60 e 40% respectivamente. Observado o gráfico apresentado percebe-se que o sistema foi bem operado e a umidade sempre mantida dentro dos limites, isto foi possível devido à verificação laboratorial da umidade da turfa combinada com os ajustes dos controladores de umidade.

6.6. HEDONICIDADE ODORANTE

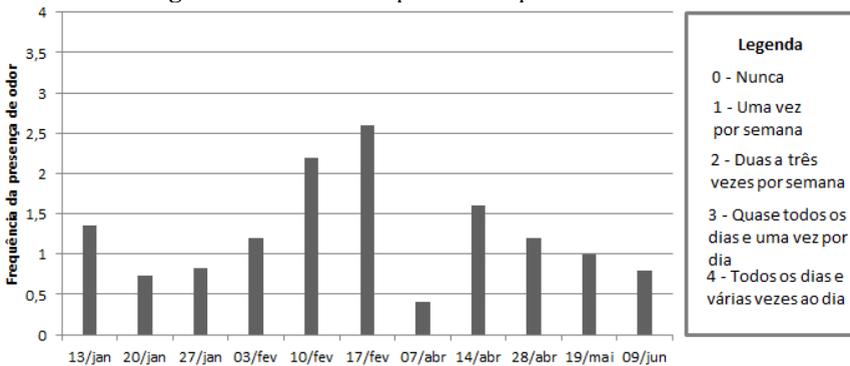
A Hedonicidade do odor exalado nas proximidades do biofiltro foi avaliada a partir da aplicação de questionários aos jurados, que são funcionários da CASAN. Os questionários foram aplicados quinzenalmente a partir do dia 13/01/14 até o dia 09/06/2014, sendo aplicado no dia 27/01 um questionário retroativo, para avaliar também o

ambiente anterior à implantação do equipamento. A aplicação deste questionário retroativo é válida, pois todos os jurados que o responderam já trabalhavam no local antes da implantação do biofiltro e presenciaram em seu dia-a-dia o odor exalado pela elevatória sem tratamento.

Após a avaliação dos questionários respondidos pelos jurados, concluiu-se que o odor sentido nas proximidades do CIOM-CASAN foi descrito em 50% dos questionários como odor de esgotos, o que caracteriza que o odor que causa incômodo aos funcionários da CASAN é realmente proveniente da elevatória de esgotos, e que o gás predominante é o H_2S , já que outros 46% caracterizaram o odor como característico de ovo podre. Pode-se concluir também que os maus odores são detectados em sua maioria no período da manhã, provavelmente devido à baixa vazão de esgotos durante a madrugada e desta forma o esgoto fica parado nas tubulações e no poço úmido da elevatória, o que favorece a anaerobiose e conseqüente geração de H_2S . Quanto às condições climáticas diárias e estação do ano, segundo a maioria dos jurados, ou não sabem informar ou não apresentam influência no odor exalado.

A figura 13 apresenta o gráfico da frequência com que os jurados sentiram algum odor que os incomodou.

Figura 13 - Gráfico Frequência em que os odores são sentidos



Fez-se a média entre as aplicações dos questionários, encontrou-se 1,26 e desta forma, pode-se afirmar que a frequência em que o odor foi sentido após a implantação do biofiltro foi de um pouco mais que uma vez por semana. Há de se observar que o questionário não foi aplicado entre 17/02 e 07/04 em virtude da falta de disponibilidade dos

jurados. Da aplicação retroativa dos questionários, extraiu-se a média entre as frequências em que os odores eram sentidos antes da implantação do equipamento, que ficou em 3,12, ou seja, em média os odores eram sentidos quase todos os dias e uma vez ao dia. Comparando as médias das frequências em que os odores foram sentidos, anterior e posteriormente à implantação do equipamento, foi possível comprovar a boa eficiência do sistema na remoção dos odores.

Abaixo seguem gráficos que mostram a frequência com que os jurados sentiram algum incômodo anterior e posteriormente à implantação do equipamento.

Figura 14 - Gráficos frequência de intranquilidade a) anterior e b) posterior à implantação do biofiltro

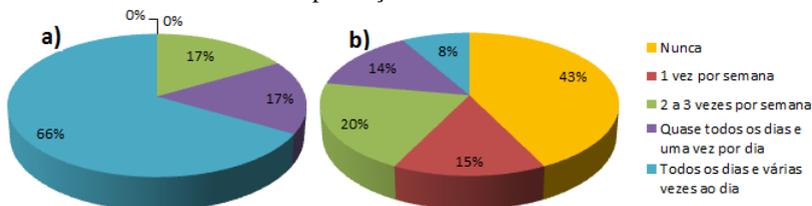


Figura 15 - Gráficos frequência de náusea a) anterior e b) posterior à implantação do biofiltro

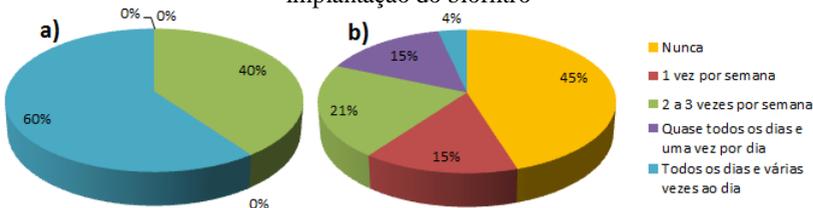
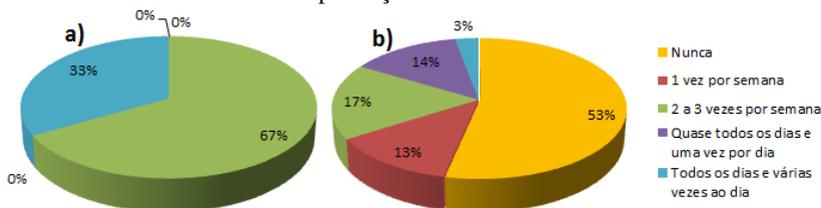


Figura 16 - Gráficos frequência de irritação a) anterior e b) posterior à implantação do biofiltro



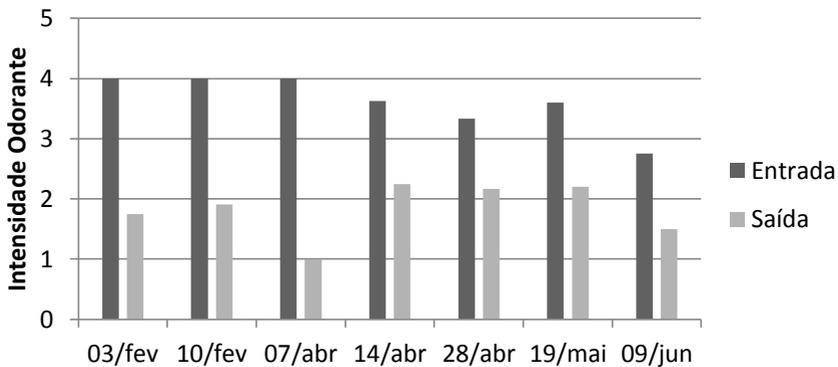
Os gráficos apresentados acima mostram que a frequência com que algum tipo de incômodo foi sentido reduziu de forma bastante significativa após a implantação do biofiltro, sendo esta outra forma de mostrar que o equipamento operou de forma bastante eficiente durante o estudo.

6.7. INTENSIDADE ODORANTE

A intensidade odorante foi avaliada para saída do sistema, onde os gases estavam já tratados e para a entrada do biofiltro, com os gases ainda sem tratamento, a fim de avaliar a eficiência do sistema.

O procedimento de determinação da intensidade odorante tinha início com a preparação das soluções de 1-Butanol conforme as concentrações indicadas na tabela 08. Em seguida, os frascos foram apresentados aos jurados para calibrá-los perante a escala de intensidade, sendo estes orientados para avaliarem apenas a intensidade do odor e não a agradabilidade ou caráter do mesmo. Este procedimento foi realizado junto ao laboratório da CASAN. Posteriormente os jurados foram levados até o biofiltro, onde eram orientados a sentir os odores da chaminé (saída) do biofiltro e posteriormente os da entrada do sistema para só então responderem o questionário.

Foram aplicados ao todo 7 questionários de intensidade odorante entre os dias 03/02/2014 e 09/06/2014, com um número médio de 6 jurados participantes. Os resultados obtidos para a remoção da intensidade do odor foram bem satisfatórios, sendo que a intensidade odorante média de entrada foi de 3,61 na escala de 1 a 5, o que caracteriza um odor de intensidade média-forte, e a saída apresentou intensidade odorante média de 2,16, o que caracteriza um odor de intensidade fraca. A figura 14 mostra o gráfico que foi gerado a partir dos questionários respondidos apresentando média das intensidades de entrada e saída do biofiltro relatada pelos jurados em cada um dos questionários aplicados, onde as intensidades de 1 a 5 correspondem a muito fraco, fraco, médio, forte e muito forte respectivamente.

Figura 17 - Gráfico Intensidade odorante da entrada e saída do biofiltro

Observa-se no gráfico a considerável diferença entre as intensidades do odor sentido na entrada e na saída do biofiltro, o que denota a elevada remoção da intensidade do odor em consequência da eficiência do equipamento. Observa-se no gráfico a presença da mesma lacuna vista no gráfico de intensidade, também em detrimento a falta de disponibilidade dos jurados de realizarem o teste.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante dos resultados apresentados, pôde-se concluir que o biofiltro com leito de turfa automaticamente operado e avaliado é muito eficiente, já que apresentou eficiências de remoção de H_2S quase sempre superiores a 99%, sendo obtidas concentrações médias de 3,61 ppm na entrada e 0,008 ppm na saída, configurando uma eficiência de remoção média ao longo de todo o monitoramento de 99,74%. Constatou-se ainda a redução da frequência em que os odores foram sentidos de diariamente para apenas uma vez por semana, além da redução da intensidade do odor exalado de médio-forte para fraco, na escala de intensidade.

Com o presente trabalho, concluiu-se também que o sistema avaliado é bastante simples de operar, visto que a operação deste se resumiu à coleta de dados, abertura da válvula de descarga do percolado e ajuste do parâmetro de acionamento da bomba a fim de manter a umidade dentro da faixa ótima. Apenas em uma ocasião, devido à formação de caminhos preferenciais de passagem de gás no leito, foi realizado o revolvimento da turfa, o que demandou de um trabalho um pouco maior.

Determinou-se a taxa de aplicação superficial de água para irrigação necessária para manter a umidade ótima do material filtrante, que ficou em 5,18 L/m².d, quantidade esta que pode ser futuramente aplicada em biofiltros operando em condições semelhantes à estudada.

Recomenda-se a instalação de uma válvula atuada no dreno de fundo e um relé cíclico para comandar aberturas e fechamentos desta válvula, onde este sistema faria a descarga do líquido percolado de forma também automatizada, e desta forma eliminaria a necessidade de visitas frequentes do operador para realizar estas descargas.

Com os resultados obtidos, ressalta-se que durante a implantação de um biofiltro deve-se atentar para o local onde o efluente percolado do sistema será lançado, pois por possuir um pH extremamente baixo, a destinação inadequada deste pode causar problemas. Recomenda-se o descarte deste efluente juntamente com o esgoto, pois apesar de bem concentrado e com pH muito baixo, o volume gerado deste efluente é bem baixo e desta forma o mesmo seria diluído no esgoto.

Sugere-se que, para melhorar o sistema de automatização do controle da umidade, seja implantado um melhor sistema de controle de umidade, visto que o utilizado neste projeto apresentou leituras de umidade muito diferentes da umidade real, valores estes que não

mantiveram um padrão de linearidade, impossibilitando também a geração de uma curva de calibração do sistema. Um melhor controlador de umidade automático reduziria ainda mais a necessidade de manutenção do sistema, que é o intuito inicial deste trabalho, avaliar um biofiltro automatizado, de modo que este opere com o mínimo de manutenção possível.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. **Odor control in waste treatment plants**. Alexandria: Water Environment Federation; New York: ASCE, 1995. xxii, 282p. (WEF Manual of practice 22)

APHA/AWWA/WEF. EATON, A.D et al. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21^a ed. Washington: American Public Health Association. 1082 p. 2005.

ARNESEN A. S.; SAMPAIO. A. O. **Tratamento de gases odorantes de EEE e ETE por biofiltração**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, Goiânia-GO – Brasil. 2013.

ASTM. Designation: **E 544-75 Standard Practices for Referencing Suprathreshold Odor Intensity**. 1997.

BELLI FILHO, P.; LISBOA, H. M. **Odor e desodorização de estações de tratamento de efluentes líquidos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, Rio de Janeiro – Brasil. 1999.

BELLI, P. F.; DE MELO LISBOA. H. - **Avaliação de emissões odorantes**. Engenharia Sanitária e Ambiental. 3-Nº 3, Jul/Set, Nº 4 Out/Dez, 1998.

BELLI FILHO et al. **Tratamento de odores em sistemas de esgotos sanitários**. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios - PROSAB, cap. 8, 2001.

BURGESS, J.E.; PARSONS, S.A.; STUETZ, R.M. **Developments in odour control and waste gas treatment biotechnology: a review**. Biotechnology Advances Journal, 19. Pages 35-63. 2001.

CABRAL, F. A.S.; BELLI FILHO, P. **Avaliação de um biofiltro com leito de turfa para eliminação de compostos odorantes**. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22, Joinville, SC – Brasil. 2003.

CABRAL, F. A.S. **Biofiltração para desodorização de reatores anaeróbios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental . Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2003.

CARMO Jr., G. N. R. **Otimização e aplicação de metodologias para análises olfatométricas integradas ao saneamento ambiental**. 174 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2005.

CARVALHO, C. M. **Odor e biodesodorização em reatores anaeróbios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental . Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2001.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BASICO (BRASIL). **Pós - tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: PROSAB, 2001. 544p.

CHERNICHARO, C.A.L. et al. **Alternativas para o Controle de Emissões odorantes em Reatores Anaeróbios Tratando Esgoto Doméstico**. Revista ABES, v.15, n.3, Nota técnica, p. 229-236. 2010.

CHERNICHARO, C.A.L. et al. **Contribuição para o projeto de biofiltros aplicados ao tratamento de emissões odorantes provenientes de reatores anaeróbios**. Revista DAE, v.186, Nota técnica, p. 56-62. 2011.

DEVINNY, J.S., DESHUSSES, M.A., WEBSTER, T.S. **Biofiltration for air pollution control**. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 299p. 1999.

GODISH, T. **Air quality**. 2nd.ed. Chelsea: Lewis, 1991. 422p.
GOSTELOW, P.; PARSONS, S.A. **Sewage treatment Works odour measurement**. Water Science and Technology. Vol 41, nº 6, pg 33-40. 2000.

LE CHOIREC P, FANLO JL, DEGORCE-DUMAS JR. **Traitement des odeurs et désodorisation industrielle**. Innovation 128, Paris. 1991.

LISBOA, H. M. et. al. **Metodologias olfatométricas para avaliação do impacto odorante**. LCQAr, Universidade Federal de Santa Catarina. 2010.

MATOS, T. A.; SILVA, H; P; M.; GONÇALVES, R. F. **Uso simultâneo de um biofiltro aerado submerso para tratamento secundário de esgoto sanitário e para biodesodorização de ar atmosférico contendo gás sulfídrico (H₂S)**. XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa. ABES. 2001.

MCGINLEY, M. A.; MCGINLEY, C. M. **Olfactomatics : Applied mathematics for odor testing**. WEF odor / VOC, Specialty Conference Cincinnati, 2000.

MOOSAVI, G. R. et al. **Biotechnology Advances in Treatment os Air Streamns Containing H₂S**. Department of Environmental Health Engineering. Tehran University od Medical Sciences, Tehran, Iran. 2005.

PROKOP, W. Odors. In: **Air Pollution Engineering Manual**. USA, Air & waste management Association, 1996.

RIBEIRO, J. T. **Controle de odores em sistemas de esgoto sanitário**. Esgoto Sanitário-Coleta, transporte tratamento e reuso agrícola. 1a Edição, 2003.

ROCHA, et al. **Introdução a química ambiental**. 1 ed. Bookman, Porto Alegre, 2004, p. 85.

SILVA, M.B. **Influência do tipo de meio suporte no desempenho de biofiltros aplicados à remoção de H₂S do ar atmosférico em sistemas de esgoto sanitário**. 2008. 156 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental) - UFES, Vitória, 2008.

SILVA, A.B. **Avaliação da produção de odor na estação de tratamento de esgoto Paranoá e seus problemas associados**. 2007. 132 f. Dissertação (Mestre) -, UNB, Brasília, 2007.

SOUZA, C.L. **Estudo das rotas de formação, transporte e consumo dos gases metano e sulfeto de hidrogênio resultantes do tratamento**

de esgoto doméstico em reatores UASB. 147 f. Tese (Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos- Doutor) -UFMG, Belo Horizonte, 2010.

TACLA, R. M. B. **Aproveitamento de resíduos industriais para a biofiltração do sulfeto de hidrogênio.** 2004. Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

VAN LAGENHOVE H; DE HEYDER, B. **Biotechnological treatment of sewage odours.** In: Odours in Wastewater Treatment – Measurement, modeling and control. 434p, 2001.

ANEXO I – Tabela de concentrações de H₂S de entrada e saída (em ppm) e eficiências de remoção obtidas

Medição	Entrada	Saída	Eficiência (%)	Medição	Entrada	Saída	Eficiência (%)
1	1,240	0,067	94,62	40	0,647	0,000	100,00
2	1,933	0,090	95,34	41	1,198	0,001	99,92
3	7,133	0,032	99,55	42	2,150	0,004	99,83
4	3,850	0,015	99,60	43	3,117	0,001	99,97
5	2,817	0,041	98,56	44	6,233	0,006	99,90
6	3,450	0,030	99,13	45	5,000	0,004	99,91
7	2,267	0,001	99,96	46	1,152	0,001	99,91
8	2,017	0,004	99,82	47	2,383	0,003	99,89
9	2,067	0,001	99,94	48	4,467	0,003	99,93
10	1,133	0,000	99,97	49	6,450	0,002	99,97
11	1,167	0,002	99,86	50	7,200	0,001	99,98
12	4,750	0,035	99,26	51	1,138	0,000	100,00
13	3,767	0,019	99,49	52	4,150	0,002	99,94
14	6,650	0,091	98,63	53	3,200	0,003	99,90
15	7,117	0,008	99,89	54	9,233	0,015	99,84
16	2,583	0,022	99,14	55	7,833	0,039	99,50
17	0,147	0,003	97,96	56	3,050	0,003	99,90
18	3,333	0,004	99,89	57	9,533	0,005	99,94
19	4,917	0,008	99,83	58	7,433	0,052	99,30
20	2,717	0,003	99,88	59	9,800	0,003	99,97
21	2,100	0,005	99,75	60	0,587	0,001	99,83
22	8,933	0,003	99,97	61	2,100	0,006	99,73
23	1,702	0,008	99,53	62	7,767	0,001	99,98
24	1,702	0,008	99,53	63	5,483	0,018	99,68
25	9,217	0,011	99,88	64	3,633	0,003	99,93
26	11,100	0,007	99,94	65	4,867	0,002	99,96
27	12,500	0,001	99,99	66	2,050	0,001	99,95
28	9,633	0,002	99,98	67	1,700	0,000	100,00
29	10,983	0,003	99,97	68	1,840	0,000	100,00
30	9,233	0,031	99,67	69	2,100	0,002	99,89
31	16,333	0,017	99,90	70	3,367	0,005	99,84
32	0,633	0,000	100,00	71	2,400	0,002	99,93
33	0,065	0,000	100,00	72	3,583	0,006	99,83
34	1,667	0,001	99,94	73	4,283	0,003	99,94
35	0,838	0,000	100,00	74	1,667	0,005	99,70
36	0,170	0,000	100,00	75	3,917	0,012	99,69
37	2,000	0,000	100,00	76	3,450	0,010	99,71
38	1,650	0,000	100,00	77	2,367	0,006	99,75
39	2,867	0,001	99,98	78	5,017	0,003	99,94

Medição	Entrada	Saída	Eficiência (%)	Medição	Entrada	Saída	Eficiência (%)
79	1,417	0,006	99,60	99	2,956	0,002	99,93
80	2,783	0,003	99,88	100	1,201	0,000	100,00
81	1,137	0,002	99,82	101	1,767	0,000	100,00
82	0,255	0,000	99,87	102	1,234	0,000	100,00
83	5,133	0,003	99,95	103	3,089	0,005	99,84
84	4,133	0,001	99,98	104	1,051	0,005	99,52
85	1,367	0,001	99,93	105	2,533	0,006	99,76
86	0,111	0,000	100,00	106	3,067	0,002	99,95
87	3,544	0,006	99,84	107	3,667	0,005	99,87
88	3,833	0,002	99,94	108	0,781	0,003	99,66
89	5,289	0,003	99,95	109	2,200	0,002	99,92
90	0,001	0,000	100,00	110	3,422	0,001	99,96
91	3,422	0,001	99,98	111	1,222	0,000	100,00
92	3,456	0,001	99,97	112	3,756	0,003	99,92
93	2,289	0,000	100,00	113	3,556	0,004	99,90
94	1,357	0,001	99,95	114	5,878	0,004	99,94
95	1,989	0,000	100,00	115	2,656	0,003	99,90
96	3,811	0,003	99,93	116	5,233	0,001	99,98
97	1,378	0,001	99,95	117	4,489	0,004	99,90
98	3,100	0,000	99,99				

ANEXO II - Questionário de Hedonicidade Odorante



DATA: ___/___/___

ANÁLISE DE HEDONICIDADE

Questionário geral para avaliação do incômodo ocasionado pelo odor liberado na Estação Elevatória de Esgoto da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento, localizada no bairro Balneário – Florianópolis.

Informações:

Idade: _____

Sexo: Feminino () Masculino ()

Fumante: Sim () Não ()

Grau de escolaridade: _____

Local de Trabalho: _____

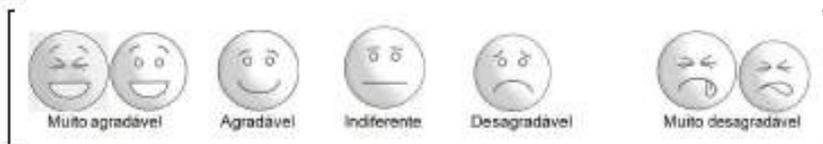
	Nunca	1 vez por semana	2 a 3 vezes por semana	Quase todos os dias e uma vez ao dia	Todos os dias e várias vezes ao dia
2. Você sente algum odor que te incomoda?	0	1	2	3	4

3. Quais tipos de incômodos os odores provocam em você?	0	1	2	3	4
---	---	---	---	---	---

3a. Intranquilidade					
3b. Náusea					
3c. Incônia					
3d. Imitação					
3e. Irritação na garganta					
3f. Irritação nos olhos					
3g. Vômito					
3h. Dor de cabeça					
3i. Perda do apetite					
3j. Outros					

4. Você pode descrever este odor?

- 4a. Ovo estragado
4b. Ergotos
4c. Óleo queimado
4d. Tinta
4e. Fertilizante
4f. Gasolina
4g. Gás
4h. Não sei

5. O odor que você percebe:

6. O odor que você percebe é:

- () Muito fraco
() Fraco
() Médio
() Forte
() Muito forte

7. Qual período que o odor te incomoda?

- () Manhã (6 a 12 horas)
() Tarde (12 a 18 horas)
() Noite (18 a 24 horas)
() Madrugada (24 a 6 horas)



8. Você sente mais odor desagradável quando o tempo está?

- Ensoleado
- Nublado
- Chuvoso
- Antes da chuva
- Independente da condição meteorológica
- Não sei

9. Qual estação do ano é mais frequente a percepção dos odores desagradáveis?

- Verão
- Outono
- Inverno
- Primavera
- Nenhuma
- Todas

10. Você sente o odor quando a direção do vento está?

- Norte
- Sul
- Leste
- Oeste
- Independente
- Não sei

ANEXO III – Questionário de Intensidade Odorante



DATA: __/__/__

ANÁLISE DA INTENSIDADE ODORANTE

Ficha para avaliação do impacto odorante pelo júri permanente:

Nome:

Idade:

Sexo: Feminino () Masculino ()

Fumante () Não Fumante ()

Entrada:	Você está sentindo algum tipo de odor?		Descreva o odor que você está sentindo:
Data	() Sim	() Não	
	__/__/__		
	Se sim, qualifique este odor de acordo com a escala de 1-Butanol apresentada:		
Hora	Muito Fraco	()	_____
	Fraco	()	
	Médio	()	
	Forte	()	
	Muito forte	()	

Saída	Você está sentindo algum tipo de odor?		Descreva o odor que você está sentindo:
Data	() Sim	() Não	
	__/__/__		
	Se sim, qualifique este odor de acordo com a escala de 1-Butanol apresentada:		
Hora	Muito Fraco	()	_____
	Fraco	()	
	Médio	()	
	Forte	()	
	Muito forte	()	