



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO: ENGENHARIA CIVIL**

ALAN JÚNIOR DIAS SILVA

**UMA PROPOSTA DE ALTERNATIVA PARA A REDUÇÃO E/OU CONTROLE DE
ODOR NO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DE PALMAS – TO**

**Palmas
2021**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO: ENGENHARIA CIVIL**

ALAN JÚNIOR DIAS SILVA

**UMA PROPOSTA DE ALTERNATIVA PARA A REDUÇÃO E/OU CONTROLE DE
ODOR NO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DE PALMAS – TO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel no Curso Superior de Engenheiro Civil do Instituto Federal do Tocantins, Campus Palmas.

Orientadora: Prof.^a Me. Adriana Soraya
Alexandria Monteiro

**Palmas
2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

S586p Silva, Alan Júnior Dias
Uma Proposta de Alternativa para a Redução e/ou Controle de
Odor no Sistema de Esgotamento Sanitário de Palmas - TO / Alan
Júnior Dias Silva. – Palmas, TO, 2021.
81 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2021.

Orientadora: Ma. Adriana Soraya Alexandria Monteiro

1. Estação de Tratamento de Esgoto. 2. Características dos
Odores. 3. Soluções sugeridas/implantadas para combater o odor
nas ETE's. I. Alexandria Monteiro, Adriana Soraya. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).**

FOLHA DE APROVAÇÃO

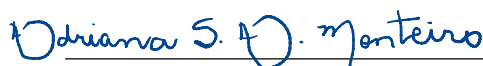
ALAN JÚNIOR DIAS SILVA

UMA PROPOSTA DE ALTERNATIVA PARA A REDUÇÃO E/OU CONTROLE DE ODOR NO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DE PALMAS – TO

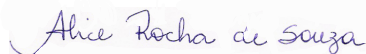
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do curso de
Engenharia Civil Instituto Federal do
Tocantins - Campus Palmas, como
exigência à obtenção do grau em
Engenheiro Civil.

Aprovado em: 29 / 11 / 2021

BANCA AVALIADORA



Me. Adriana Soraya Alexandria Monteiro
Orientadora



Dra. Alice Rocha de Souza



Dr. Marcelo Mendes Pedrosa

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde, força, sabedoria e principalmente paciência para encarar e superar as adversidades encontradas no decorrer dessa etapa.

Ao Instituto, seu corpo docente, direção e administração que me proporcionaram a oportunidade de fazer o curso e me capacitaram para esse momento.

A minha orientadora Prof. Me. Adriana Soraya Alexandria Monteiro. Aos meus pais, que sempre me deram o suporte financeiro, psicológico e afetivo necessário e de forma incondicional para que eu sempre focasse nos estudos e obtivesse êxito.

A minha namorada, que desempenhou papel primordial nessa conquista, me dando muito apoio, incentivo e amor.

A todos que de forma direta ou indireta fizeram parte da minha formação e dessa conquista, os meus mais sinceros muito obrigado.

RESUMO

SILVA, A.J.D. **Uma Proposta de Alternativa para a Redução e/ou Controle de Odor no Sistema de Esgotamento Sanitário de Palmas – TO.** 2021. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2021.

Embora o crescimento populacional e o processo de industrialização tenham trazido benefícios para a população, eles também apresentam efeitos adversos. Em particular, a poluição do ar é um dos principais problemas ambientais, e há muitos anos causa danos ao meio ambiente e à saúde humana. Entre os poluidores, destacam-se as estações de tratamento de esgoto instaladas próximas ao perímetro da cidade, causando problemas, como a emissão de gases odoríferos, oriundos de sistemas anaeróbios de tratamento, que acabam se difundindo na atmosfera e causando impactos ambientais, afetando a qualidade de vida dos residentes do entorno. Dentre os poluentes atmosféricos que causam esses danos, o sulfeto de hidrogênio (H_2S) é considerado o principal, o mesmo é produzido pela decomposição anaeróbia da matéria orgânica e, devido ao seu odor característico, pode ser detectado pelo olfato humano mesmo em baixas concentrações. Dessa forma, o objetivo deste estudo é de realizar uma revisão de literatura sobre a produção e a identificação dos principais pontos de geração de odores das ETE's e seus problemas relacionados, buscando alternativas mitigadoras para o controle de odor no sistema de esgotamento sanitário de Palmas – TO e, embasando-se em leis de outros estados foi proposto a implementação no estado de um plano de controle de odor e a restrição máxima de emissão dos principais gases de odor, como a Amônia com um limite de 46,8 ppm no ar e o Sulfeto de Hidrogênio com um limite de 0,00047 ppm no ar. E por último, relacionando com alternativas de controle de odor implementadas em outros estados, foi proposto soluções as ETE's locais, como, a incorporação da coluna de adsorção para os reatores UASB na configuração da ETE Norte e o emprego de um sistema de recirculação nas lagoas anaeróbias da ETE Aurenny (União Sul).

Palavras-chave: ETE's; Odor; Sulfeto de hidrogênio; reatores UASB, lagoas de estabilização, controle de odor, distância das ETE's e aglomerações urbanas, qualidade de vida.

ABSTRACT

SILVA, A.J.D. **A Proposal of Alternative for the Reduction and/or Control of Odor in the Sewage System of Palmas - TO.** 2021. 81 f. Final Paper - Bachelor of Civil Engineering - Federal Institute of Education, Science and Technology of Tocantins. Palmas, 2021.

Although population growth and the industrialization process have brought benefits to the population, they also have adverse effects. In particular, air pollution is one of the main environmental problems, and for many years has caused damage to the environment and human health. Among the polluters, the sewage treatment plants installed near the city perimeter stand out, causing problems such as the emission of odorous gases, originating from anaerobic treatment systems, which end up diffusing into the atmosphere and causing environmental impacts, affecting the quality of life of the surrounding residents. Among the air pollutants that cause such damage, hydrogen sulfide (H₂S) is considered the main one, which is produced by the anaerobic decomposition of organic matter and, due to its characteristic odor, can be detected by the human sense of smell even at low concentrations. Thus, the objective of this study is to conduct a literature review on the production and identification of the main points of odor generation of sewage treatment plants and their related problems, seeking mitigating alternatives for the control of odor in the sanitary sewage system of Palmas - TO and, Based on laws from other states was proposed the implementation of an odor control plan in the state and the maximum emission restriction of the main odor gases, such as Ammonia with a limit of 46.8 ppm in air and Hydrogen Sulfide with a limit of 0.00047 ppm in air. And finally, relating the odor control alternatives implemented in other states, solutions were proposed for local WWTPs, such as the incorporation of the adsorption column for UASB reactors in the configuration of the North WWTP and the use of a recirculation system in the anaerobic lagoons of the Aurenny WWTP (South Union).

Keywords: WWTPs; Odor; Hydrogen sulfide; UASB reactors, stabilization ponds, odor control, distance from WWTPs and urban agglomerations, quality of life.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Variantes de Lagoas de Estabilização.....	21
Figura 2 - Sistema de Lodo Ativado.....	22
Figura 3 - Reator UASB.....	24
Figura 4 - Filtro Biológico.....	25
Figura 5 - Representação gráfica do Ciclo do Enxofre.....	35
Figura 6 - Representação gráfica do Ciclo do Nitrogênio.....	36
Figura 7 - Localização da ETE Norte e da vizinhança ao entorno.....	46
Figura 8 - Localização da ETE Aurenny e da vizinhança ao entorno.....	47
Figura 9 - Equipamentos para Amostragem H₂S.....	51
Figura 10 - Medidor de Gás Sulfídrico Gasalert Microclip XL.....	52
Figura 11 - Medidor de Gás Sulfídrico Jerome 631-X.....	53
Figura 12 – Equipamentos para Amostragem NH₃.....	55
Figura 13 – Espectrômetro de Massa Quadruplo.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vantagens e Desvantagens das lagoas de estabilização.....	20
Tabela 2 - Vantagens e desvantagens dos reatores UASB.....	23
Tabela 3 - Características dos principais compostos odorantes em estações de tratamento de esgotos.....	27
Tabela 4 - Os principais pontos de emissão de odor e as concentrações de H ₂ S médias.....	28
Tabela 5 - Principais compostos químicos odorantes na ETE's.....	33
Tabela 6 - Efeitos da exposição ao Gás Sulfídrico (H ₂ S).....	39
Tabela 7 - Alternativas para tratamento de odores.....	40
Tabela 8 – Métodos para controle de gases odorantes em ETE's.....	59

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

UASB - Anaeróbio de Fluxo Ascendente de Alta Eficiência

ETE - Estação de Tratamento de Esgoto

DBO - Demanda Biológica de Oxigênio

ppm - Partes por milhão

EEE - Estação Elevatória de Esgoto

FMA - Fundação de Meio Ambiente

mg/m³ - Miligramas por metro cúbico

RCA – Relatório de Controle Ambiental

mg/L - Miligramas por litro

NR - Norma Regulamentadora

DQO - Demanda Química de Oxigênio

OD - Oxigênio dissolvido

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PLANSAB - Plano Nacional de Saneamento Básico

IBAMA-Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

Art - Artigo

LP - Licença Previa

LI - Licença de Instalação

LO - Licença de Operação

LMO - Licença Municipal de Operação

EIA/RIMA - Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental

PH - Potencial Hidrogeniônico

PRONAR - Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CMA - Comando Militar da Amazônia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. PROBLEMA DE PESQUISA	15
3. JUSTIFICATIVA.....	16
4. OBJETIVOS	16
4.1. Objetivo Geral	16
4.2. Objetivos Específicos	16
5. REVISÃO DE LITERATURA	17
5.1. Estação de Tratamento de Esgoto	17
5.1.1. Definição de Esgoto.....	17
5.1.2. Níveis do Tratamento de Esgoto	17
5.1.2.1. Conceito do processo	17
5.1.2.2. Caracterização das etapas	18
5.1.3. Principais Tipos de Tratamento de Esgoto	19
5.1.3.1. Lagoas de Estabilização.....	19
5.1.3.2. Sistemas de Lodo Ativado	21
5.1.3.3. Reatores UASB	22
5.1.3.4. Filtros biológicos.....	24
5.2. Odor	26
5.2.1. Definições e conceitos de odores	26
5.2.2. Características dos Odores	26
5.2.3. Fontes Geradoras de Odor.....	27
5.2.3.1. Elevatória.....	28
5.2.3.2. Reatores UASB	29
5.2.3.3. Lagoas de Estabilização Anaeróbias.....	30
5.2.3.4. Tratamento do Lodo	31
5.2.3.5. Pré-Tratamento	32
5.2.4. Compostos Odorantes	32
5.3. Sulfeto de Hidrogênio (H ₂ S)	33
5.4. Ciclo do Enxofre	34
5.5. Ciclo do Nitrogênio	35
5.6. Amônia (NH ₃)	36
5.7. Impacto Socioambiental Ocasionado Por Emissões Odorantes	37

5.7.1.	Tratamento de esgotos e reclamações sobre odores.....	38
5.7.2.	Problemas relacionados à poluição por H ₂ S.....	38
5.7.3.	Avaliação do risco à saúde pela exposição ao H ₂ S.....	39
5.8.	Alternativas De Tratamento De Odor	40
5.8.1.	Compostos Químicos	41
5.8.2.	Biofiltração.....	41
5.8.3.	Coluna de Adsorção	42
5.9.	Dificuldade de implantação de medidas para controle do odor nas ETES...	42
5.10.	Legislação.....	43
6.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	44
6.1.	Caracterização da área de análise.....	44
6.1.1.	Localização.....	45
6.1.1.1.	ETE Norte.....	45
6.1.1.2.	ETE Aurenny	46
6.1.2.	Clima	47
6.1.3.	Processos de Tratamento de Esgoto ETE Norte	48
6.1.4.	Processos de Tratamento de Esgoto ETE Aurenny	48
6.1.5.	Gases oriundos do processo	49
6.2.	Compostos Odoríferos e seus métodos de ensaio	50
6.2.1.	Sulfeto de Hidrogênio	50
6.2.1.1.	Ensaio para a Determinação do Sulfeto de Hidrogênio	51
6.2.2.	Amônia	53
6.2.2.1.	Ensaio para a Determinação da Amônia	54
6.2.3.	Influência planimétrica e dos ventos na propagação do odor	56
6.2.4.	Influência climática na propagação do odor	57
6.2.5.	Influência da carga orgânica na propagação do odor.....	57
7.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
7.1.	Soluções sugeridas/implantadas para combater o odor nas ETE's	58
7.1.1.	Soluções imediatas.....	60
7.1.2.	Soluções a médio prazo	61
7.1.3.	Soluções a longo prazo	61
7.1.4.	Situação em que se encontra as ETE's de Palmas – TO em relação ao controle do odor local produzido.....	62
7.1.4.1.	ETE União Sul.....	62

7.1.4.2. ETE Norte.....	62
7.2. Legislação	63
7.2.1. Legislação Federal – Linha do Tempo.....	63
7.2.2. Legislações Estaduais	66
7.2.2.1. São Paulo	66
7.2.2.2. Santa Catarina.....	67
7.2.2.3. Tocantins	67
8. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	68
8.1. Medidas mitigatórias necessárias para o controle de odor nas ETE's locais.....	68
8.1.1. ETE União Sul	68
8.1.2. ETE Norte	69
8.2. Proposta de aprimoramento da legislação estadual de licenciamento ambiental do Estado do Tocantins.....	70
8.3. Recomendações aos Gestores Públicos e Privados.....	71
8.4. Sugestões de trabalhos futuros.....	72
9. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	73

1. INTRODUÇÃO

Para o tratamento de águas residuais, pode ser utilizada uma variedade de tecnologias, como: tanques de estabilização, sistemas de lodo ativado, reatores UASB e filtros biológicos; além da combinação desses processos entre si, para montagem ou a escolha do tratamento mais adequado para cada situação, que deve ser implantada respeitando as características de cada localidade e obedecendo a legislação vigente.

Segundo ANDREOLI (2001), o processo de tratamento de esgoto sanitário emprega um ou mais processos para reduzir seu teor de impurezas, de forma que os subprodutos finais possam ser reutilizados ou devolvidos ao meio ambiente.

Assim a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), é uma unidade operacional do sistema de tratamento de esgoto sanitário que se utiliza de processos físicos, químicos e biológicos para conseguir retirar os poluentes do material e posteriormente seguindo os padrões exigidos pelas legislações e regulamentações ambientais, devolver o efluente tratado ao meio ambiente (CAMPOS,1999).

E, com o desenvolvimento das cidades e a redução da área destinada à criação de bairros, aliada à ampliação dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto, surgiu um novo problema social, o convívio de pessoas no entorno da estação de tratamento de esgoto. Pois, na fase de planejamento de uma cidade, uma área é destinada às instalações de tratamento de esgotos, que geralmente ficam longe das imediações da cidade. Entretanto, à medida que as cidades se expandem, áreas antes consideradas menos atraentes tornam-se opções viáveis, assim como as áreas ao redor das estações de tratamento de esgoto e, em alguns casos, o controle inadequado de odores pode gerar reclamações dos moradores das proximidades.

Segundo GRASEL (2014), um dos principais gases odoríferos emitidos nas estações de tratamento de esgoto é o gás sulfeto de hidrogênio (H_2S), que também é considerado o gás mais prejudicial, porque além do desconforto causado pelo cheiro forte de ovo podre, dependendo da concentração do gás inalado, esse gás pode causar irritação nos olhos, dificuldades respiratórias e até a morte. Por isso, SILVA (2007) sugere que esses problemas relacionados às pessoas expostas

a essas substâncias odorantes, como os trabalhadores de ETE's, moradores e trabalhadores em áreas próximas às estações de tratamento, devem ser tratadas como prioridade pelos agentes de saúde pública e ambiental.

BRENNAN (1993), também menciona a relevância de avaliar a produção de odores e o controle das emissões desses gases está relacionada à qualidade de vida das pessoas, pois tais gases podem ocasionar estresse psicológico, insônia, perda de apetite, entre outros problemas. Além de instigar a desvalorização do terreno, a produção de odor no local está atrelada a um decrescente econômico, pois também afeta a arrecadação de impostos e vendas na área.

No Brasil, o controle e a minimização da emissão de odores nas ETE's ainda precisa de melhorias e atenção. Mas, na atualidade já são aplicados alguns métodos para combater ou reduzir o odor oriundo do processo de tratamento das ETE's, sendo que dos métodos propostos o mais empregado é a adição de compostos químicos durante as etapas de tratamento de esgoto, como: o cloro, sais de ferros, nitrato de amônia e peróxido de hidrogênio. Também consta a utilização de outros métodos que incluem mais unidades no processo de tratamento de esgotos; como: biofiltros e colunas de adsorção citados por CARNEIRO et.al (2009).

Em função do relatado, este trabalho buscou elencar as causas da produção de odor nas (ETE's) e seus problemas associados, os motivos que promovem essa geração de odor, buscando relacionar as soluções propostas e implantadas referente a produção excessiva de odores no processo de tratamento de efluentes domésticos.

2. PROBLEMA DE PESQUISA

Quais os fatores e ações que contribuem para a produção de odor nas ETE's? E, como esse problema está sendo tratado? Há legislação específica sobre o tema? Buscando relacionar com a situação atual de Palmas – TO (ETE União Sul e ETE Norte).

3. JUSTIFICATIVA

As ETE's têm papel de suma importância para com a sociedade, pois contribuem para melhores condições de preservação ambiental e melhoria da qualidade de vida da população, porém é inevitável correlacionar o tratamento de esgoto ao mau cheiro gerado pelo mesmo. Tais odores são oriundos de fusões complexas de moléculas orgânicas ou minerais voláteis, com características físico químicas distintas (BELLI et al., 1998). Deste modo, o inadequado controle desses gases gerados no processo de tratamento pode causar problemas ambientais e de saúde pública.

Logo, é indispensável que uma unidade de tratamento de esgotos apresente soluções para o controle apropriado dos gases gerados no processo de tratamento. Segundo a RESOLUÇÃO Nº 001 DE JANEIRO DE 1986 DO CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, considera-se impacto ambiental tudo em conformidade com a seguinte deliberação:

“Considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultantes das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I – Saúde, a segurança e o bem-estar da população...”

Sendo assim, identificar e controlar o causador da produção de odor na fonte geradora é de suma importância para a melhor qualidade de vida da vizinhança ao entorno das ETE's e da população em geral.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo Geral

Realizar a revisão de literatura sobre a produção e a identificação dos principais pontos de geração de odores da ETE's e seus problemas relacionados.

4.2. Objetivos Específicos

A) Listar as legislações sobre o controle de geração de odor.

- B) Buscar trabalhos relacionados a emissões de gases odorantes provenientes das ETE's e, buscar, relacionar as ações que foram sugeridas e/ou implantadas para sanar esse problema.
- C) Relacionar as alternativas de combate e minimização do odor produzido nas ETE's com embasamento em métodos já praticados.
- D) Relacionar o que é feito para controle de odor em outras unidades e a situação atual das ETE's de Palmas – TO.

5. REVISÃO DE LITERATURA

5.1. Estação de Tratamento de Esgoto

5.1.1. Definição de Esgoto

Em tese, o esgoto é formado por água, que tem suas características naturais modificadas após o uso, tornando-se inadequada para o consumo. O esgoto pode ter origem doméstica, ou seja, gerado a partir do uso da água nas atividades diárias da casa, como lavar roupas e utensílios de cozinha, fazer faxina, higienizar banheiros e dar descargas na privada, entre outros (SANTO, 2019).

Além do efluente gerado nas residências, a água que sai de estabelecimentos comerciais e empreendimentos industriais também cai na rede de esgoto e deve ser transportada da mesma maneira, por dutos para o devido tratamento. De modo geral, é possível dizer que o foco do tratamento dos esgotos é contribuir com a saúde da população e preservar o meio ambiente, garantindo a qualidade e sustentabilidade dos cursos d'água, recurso natural finito (SANTO, 2019).

5.1.2. Níveis do Tratamento de Esgoto

5.1.2.1. Conceito do processo

Segundo VON SPERLING (2014), o tratamento de esgoto apresenta os seguintes níveis de processo, de acordo com o grau de remoção dos poluentes que

se deseja atingir. Sendo dividido nos seguintes níveis: preliminar, primário, secundário e terciário.

De acordo com VON SPERLING (2014), cada nível do processo de tratamento de esgoto objetiva as seguintes ações: o tratamento preliminar objetiva apenas a remoção de sólidos grosseiros, enquanto o tratamento primário visa a remoção de sólidos sedimentáveis e, em decorrência, parte da matéria orgânica. Já no tratamento secundário, no qual predominam mecanismos biológicos, o objetivo é a remoção de matéria orgânica e eventualmente nutrientes (nitrogênio e fósforo). Enquanto no tratamento terciário se objetiva a remoção de poluentes específicos (usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis) ou ainda, a remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário, como: fósforo, nitrogênio e patogênicos.

5.1.2.2. Caracterização das etapas

O pré-tratamento é voltado para a eliminação de sólidos de granulometria grossa e areia, o sistema é caracterizado por operações físicas unitárias, em que predomina a aplicação de forças físicas, geralmente gravimetria. O objetivo desta etapa é proteger as unidades de tratamento e evitar o entupimento das tubulações (DACACH, 1991).

A etapa primária do tratamento é projetada para remover sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes, o que é essencial no processo de redução da carga de DBO (Demanda Biológica de Oxigênio) do material. Essa remoção é realizada em um tanque de sedimentação ou em reatores anaeróbios, onde os sólidos se depositam no fundo, gerando lodo primário (DACACH, 1991).

O segundo e o terceiro níveis são responsáveis pela remoção da matéria orgânica da solução na primeira parte e pela remoção da matéria inorgânica e metais pesados que aparecem corriqueiramente nos efluentes ao final do processo. Segundo VON SPERLING (2014). A essência do tratamento secundário de esgoto doméstico inclui uma etapa biológica, na qual a remoção da matéria orgânica é realizada por reações bioquímicas e realizada por microrganismos. A característica do tratamento terciário é que ele contém, geralmente, uma etapa química no processo, responsável por remover ou transformar os agentes contaminantes.

Já NUVOLARI et al (2011), menciona que existem muitos métodos de tratamento secundário, os mais comuns são: lagoas de estabilização e variantes, reatores anaeróbios, lodo ativado e variantes, reatores anaeróbios com biofilmes. Em comparação, no terceiro estágio, o método de precipitação ou da adsorção química, na qual as partículas ficam retidas na superfície, é o mais usado. Essas duas últimas etapas priorizam o alcance da qualidade adequada do efluente após o tratamento de acordo com as regulamentações normativas.

5.1.3. Principais Tipos de Tratamento de Esgoto

5.1.3.1. Lagoas de Estabilização

As lagoas de estabilização é um modelo de tratamento de esgoto cuja finalidade é a extração de matéria carbonosa do sistema por meio da interação de bactérias e algas. Consistem em grandes reservatórios com profundidades relativamente pequenas, comumente delimitados por aterros, paredes de alvenaria ou escavados no próprio local (SILVA S. A., 1982).

Segundo SILVA (1982), a ação natural do calor e da luz solar antecipam o desenvolvimento de microrganismos, contribuindo para a degradação biológica da matéria orgânica, por isso o mesmo cita que esse modelo de tratamento é mais apropriado para países em desenvolvimento e de climas tropicais e subtropicais.

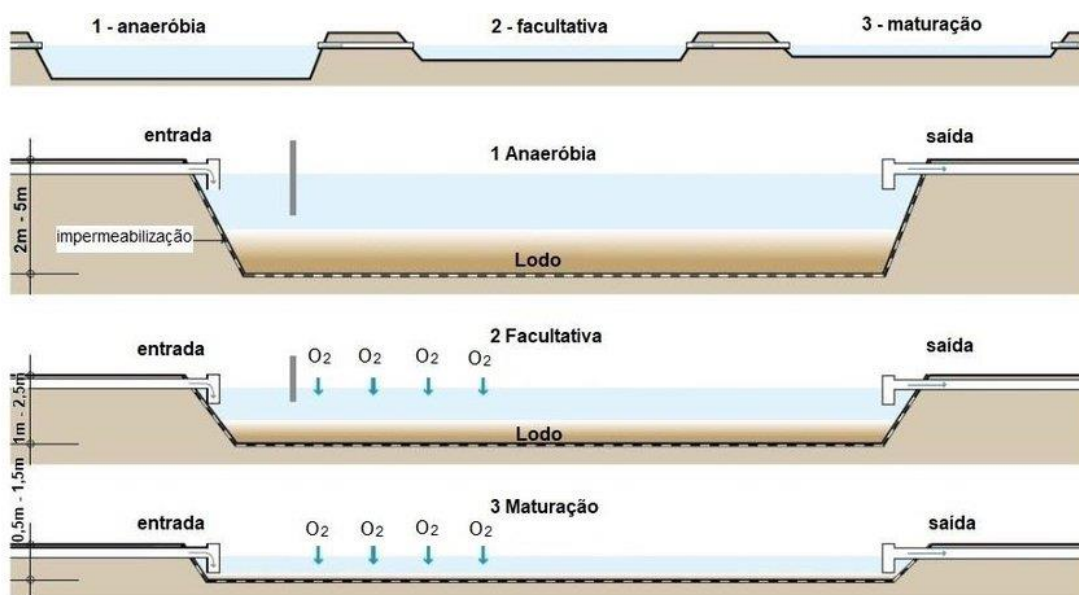
Segundo VON SPERLING (2002), as lagoas de estabilização podem ser classificadas em: **Lagoa Anaeróbia** (lagoa primária que necessita de outra lagoa subsequente, funciona na ausência de oxigênio e apresenta grande acúmulo de carga orgânica); **Lagoa Facultativa** (lagoas de pouca profundidade e com interações de bactérias anaeróbias e aeróbias na degradação da matéria orgânica); **Lagoa Aerada** (lagoas caracterizadas pela elevada presença de oxigênio e pela utilização de aeradores mecânicos no processo); **Lagoa de Maturação** (alto nível de oxigênio e baixa profundidade, e apresenta a menor turbidez entre todas) e **a Lagoa de Sedimentação** (conhecidas como lagoas de decantação). A Tabela 1 a seguir apresenta as principais vantagens e desvantagens dos modelos de lagoas de estabilização vigentes e na sequência a Figura 1 aponta variantes de lagoas de estabilização.

Tabela 1 - Vantagens e Desvantagens das lagoas de estabilização

Sistema	Vantagens	Desvantagens
Lagoa facultativa	• Satisfatória eficiência na remoção de DBO • Razoável eficiência na remoção de patógenos • Construção, operação e manutenção simples • Reduzidos custos de implantação e operação • Ausência de equipamentos mecânicos • Requisitos energéticos praticamente nulos • Satisfatória resistência a variações de carga • Remoção de lodo necessária apenas após períodos superiores a 20 anos	• Elevados requisitos de área • Dificuldade em satisfazer padrões de lançamentos restritivos • A simplicidade operacional pode trazer o descaso na manutenção (crescimento da vegetação) • Possível necessidade de remoção de algas do efluente para o cumprimento de padrões rigorosos • Performance variável com as condições climáticas (temperatura e insolação).
Sistema de lagoa anaeróbia – lagoa facultativa	• Idem lagoas facultativas • Requisitos de área inferiores às das lagoas facultativas únicas	• Idem lagoas facultativas • Possibilidade de maus odores nas lagoas anaeróbias • Necessidade de um afastamento razoável das residências circunvizinhas • Necessidade de remoção contínua ou periódica do lodo da lagoa anaeróbia
Lagoa aerada facultativa	• Construção, operação e manutenção relativamente simples • Requisitos de área menores • Maior independência das condições climáticas que os sistemas de lagoas facultativas e anaeróbio-facultativas • Satisfatória resistência a variações de carga • Reduzidas possibilidades de maus odores	• Introdução de equipamentos • Requisitos de área ainda elevados • Requisitos de energia elevado • Baixa eficiência na remoção de coliformes • Necessidade de remoção contínua ou periódica do lodo
Sistema de lagoa aerada de mistura completa – lagoa de decantação	• Idem lagoas aeradas facultativas • Menores requisitos de área de todos os sistemas de lagoas	• Idem lagoas aeradas facultativas (exceção: requisitos de área) • Preenchimento rápido da lagoa de decantação com o lodo (2 a 5 anos) • Necessidade de remoção contínua ou periódica (2 a 5 anos) do lodo
Lagoa – lagoa de maturação	• Idem sistema de lagoas precedente • Elevada eficiência na remoção de patógenos • Razoável eficiência na remoção de nutrientes	• Idem sistema de lagoas precedente • Elevados requisitos de área

Fonte: (VON SPERLING, 2002)

Figura 1 – Variantes de Lagoas de Estabilização



Fonte: (CESA/UFRJ)

5.1.3.2. Sistemas de Lodo Ativado

De acordo com VON SPERLING (1997), o sistema de lodo ativado é largamente empregado no tratamento de resíduos domésticos e industriais em todo o mundo, onde a alta qualidade da água e requisitos de área reduzidos se fazem necessários para a implantação do sistema. O processo se dá com a utilização de poucos substratos auxiliares, no qual, são capazes de remover a toxicidade (crônica e aguda) e a carga orgânica das águas residuais em uma escala menor de tempo de retenção hidráulica. Contudo, o sistema de lodo ativado se utiliza de uma taxa de mecanização mais alta do que os demais sistemas de tratamento, o que significa operações mais complicadas e maior consumo de energia.

Segundo VON SPERLING (1997), o processo de lodo ativado trata-se de um sistema fermentativo, aeróbio, contínuo, que apresenta ao final um mecanismo de reciclo da biomassa produzida, na qual constitui um inóculo permanente e ambientalmente adequado. O sistema é composto por tanque de aeração (reator), tanque de sedimentação (decantador secundário) e sistema de circulação de lodo conforme retrata a Figura 2. O sistema opera da seguinte maneira, no reator, ocorrem reações bioquímicas capazes de remover substâncias orgânicas e, sob

certas condições, conseguem também remover substâncias contendo nitrogênio. A biomassa é desenvolvida a partir do substrato existente no esgoto bruto. A sedimentação dos sólidos (biomassa) ocorre em um decantador secundário para clarificação do efluente final. Os sólidos depositados no fundo do decantador secundário são reciclados para o reator para aumentar a concentração de biomassa, razão pela qual a eficiência do sistema é alta. Devido às suas propriedades de floculação, a biomassa pode ser facilmente separada no decantador secundário.

Figura 2 – Sistema de Lodo Ativado



Fonte: (CESA/UFRJ)

5.1.3.3. Reatores UASB

No Brasil, desde a década de 1980, processos anaeróbios de alta velocidade, como reatores anaeróbios de manta de lodo e de fluxo ascendente (Reatores UASB), têm apresentado uma ampla utilização e aceitação do mercado como forma de projetar novas Estações de Tratamento de Esgotos (BETINA, 2005).

De acordo com BETINA (2005), o reator anaeróbio de fluxo ascendente é formado por três etapas, na qual tais etapas são constituídas por uma zona de digestão, uma câmara de decantação e um separador trifásico (sólido / líquido / gás), conforme retratado na Figura 3. Dessa forma, o processo de tratamento de esgoto nesse sistema seguindo cada etapa do processo se dar da seguinte maneira:

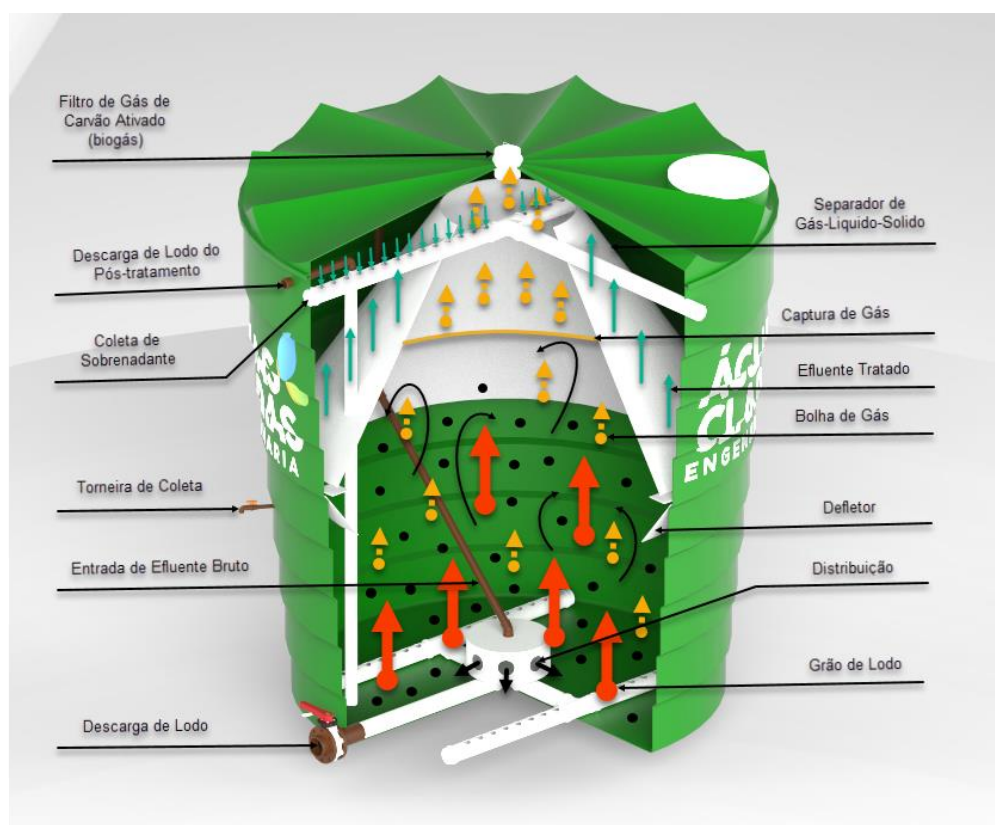
“O esgoto bruto ao passar pelos três tubos de distribuição escoar em fluxo ascendente no interior do reator. O líquido atravessa a zona de digestão com manta de lodo ocasionando a retenção física por sedimentação, adsorção e filtração, e degradação biológica da matéria orgânica. A massa líquida com partículas em suspensão provenientes da zona de digestão escoar através da abertura entre o separador trifásico e o defletor de gases, atingindo o compartimento de decantação, onde a carga superficial aplicada permite a decantação de partículas em suspensão. As partículas sedimentadas retornam a zona de digestão pelas paredes inclinadas do separador trifásico e as não sedimentadas são carregadas junto com o líquido, sendo o efluente encaminhado para uma canaleta periférica localizada na parte superior do compartimento de decantação. Os gases gerados são encaminhados a uma saída no topo do reator e liberados na atmosfera. Os materiais flutuantes direcionados e retidos no retentor de espuma são removidos conforme a necessidade no bocal de inspeção.”

Tais reatores não podem ser utilizados sozinhos para o tratamento qualitativo do esgoto, isso porque ele não remove patógenos, nem remove nutrientes, como nitrogênio e fósforo. Como solução aconselha-se a utilização do reator UASB junto com lagoas de polimento. A Tabela 2 a seguir mostra as principais vantagens e desvantagens do sistema (CHERNICHARO, 1997).

Tabela 2 – Vantagens e desvantagens dos reatores UASB

Vantagens	Desvantagens
Baixa produção de lodo	Elevado intervalo de tempo para partida do sistema sem inoculação
Baixo custo de implantação e operação	Baixa capacidade de tolerar cargas tóxicas
Baixa demanda de área	A bioquímica e a microbiologia da digestão anaeróbia são complexas
Baixo consumo de energia elétrica	Possibilidade de geração de maus odores
Possibilidade de rápido reinício, após um desequilíbrio	Necessita de etapa de pós-tratamento para atingir parâmetros estabelecidos pela legislação ambiental
Produção de metano, gás combustível com elevado poder calorífico	Eficiência de remoção dos processo aeróbios é maior
Boa desidratabilidade do lodo	
Estabilização do lodo em sistemas que adiciona lodo aeróbio	

Fonte: (CHERNICHARO, 1997)

Figura 3 – Reator UASB

Fonte: (CESA/UFRJ)

5.1.3.4. Filtros biológicos

Segundo SANTOS (2005), o filtro biológico, ilustrado na Figura 4, é um sistema aeróbio permanentemente afetado pela renovação do ar que circula facilmente nos espaços vazios do meio de suporte para fornecer o oxigênio necessário para a respiração dos microrganismos. O sistema é baseado na oxidação bioquímica aeróbia da matriz orgânica presente no esgoto. Ao converter colóides e substâncias dissolvidas em sólidos estáveis, a película fina que se desprende do meio de suporte pode se depositar facilmente e ser removida no dispositivo de decantação secundária ao final.

A percolação do esgoto viabiliza a tomada de crescimento bacteriano na face do material de enchimento (meio suporte), contribuindo para a formação de uma película ativa (biofilme), na qual, devido ao grau de estabilidade, ao cisalhamento causado pelo gradiente da vazão do líquido entre os vãos, e aos microrganismos aeróbios próximos ao meio suporte e ao fato de não conseguirem obter oxigênio, ocorre a separação do meio suporte. O material solto é retirado no

decantador secundário, de forma a se obter o efluente final clarificado com baixa concentração de matéria orgânica e sólidos em suspensão (VON SPERLING, 1996).

Segundo BUENO (2014), as principais vantagens e desvantagens do sistema de tratamento de esgoto por filtros biológicos são os listados a seguir:

Vantagens:

- Eficiência bastante alta na remoção de DBO;
- Área de implantação do sistema pequena;
- Equipamentos mecânicos simples;
- Estabilização do lodo no próprio filtro.

Desvantagens:

- Menor flexibilidade no processo;
- Custos altíssimos de implantação;
- Dependência da temperatura do ar;
- Sensível a carga tóxica;
- Elevada perda de carga;
- Criação de insetos.

Figura 4 – Filtro Biológico



Fonte: (CESA/UFRJ)

5.2. Odor

5.2.1. Definições e conceitos de odores

O odor é definido como a sensação produzida por meio de diferentes moléculas químicas que estimulam o sistema olfativo, e "cheiro odorífero" é a experiência de perceber o cheiro por meio da interação do sistema olfativo com essas moléculas. As propriedades das substâncias que afetam ou estimulam o odor são chamadas de "odorantes" ou "substâncias permeáveis" (WEF,1999).

Os compostos de odor estão ligados com os bio-sólidos, adubos e outras substâncias orgânicas e são determinados por análises microbiológicas e químicas de nutrientes orgânicos (EPA, 2000a).

A grande parte dos compostos odoríferos gerados em esgoto doméstico e na remoção de sólidos são originados de atividades biológicas anaeróbias, na qual esses organismos criados consomem a matéria orgânica, enxofre e nitrogênio encontrados em águas residuais. O esgoto doméstico geralmente contém enxofre orgânico e sulfato inorgânico suficiente para causar problemas de odor. Os compostos de odor incluem moléculas orgânicas ou inorgânicas. Os dois maiores odores inorgânicos são o sulfeto de hidrogênio e a amônia (WEF,1999).

5.2.2. Características dos Odores

Cada substância odorífera apresenta um odor distintivo e característico das demais, e um limitador olfativo, ou seja, uma concentração mínima da substância para que o odor possa ser detectado pelo olfato humano. A Tabela 3, adaptada de BELL FILHO et al (2001), expõe as principais características dos compostos odorantes em estações de tratamento de esgoto.

Tabela 3 - Características dos principais compostos odorantes em estações de tratamento de esgotos

Classe de composto	Composto	Característica dos odores	Limite olfativo (mg/N.m³ 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
Aldeídos 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)

5.2.3. Fontes Geradoras de Odor

A principal fonte responsável pelo odor emitido nas estações de tratamento de esgoto vem da decomposição anaeróbia de certos compostos orgânicos. Compostos esses, que quando liberados na atmosfera, apresentam um odor forte e muito característico.

NEDER et al. (2015) apontou que, devido à alta concentração de materiais putrescíveis e sólidos grosseiros nas unidades de pré-tratamento, faz com que o local seja uma fonte geradora de odor em potencial, pois o material orgânico fica retido nas grades, desarenadores e caixas de areia. Os decantadores (pré-tratamento), reatores biológicos e tanques aeradas (tratamento secundário) também são umas das principais fontes de odor.

De acordo com PINTO et al. (2015), estima-se que aproximadamente 50% das queixas acerca das ETEs estão relacionadas aos processos de gerenciamento e tratamento de lodo. Os processos de digestão, desidratação, secagem e armazenamento são fontes potenciais de odores desagradáveis.

BELLI FILHO et al (2001), apresenta a (Tabela 4) com os principais pontos de emissão e os níveis de concentração dos odores em uma estação de tratamento de esgoto.

Tabela 4 – Os principais pontos de emissão de odor e as concentrações de H₂S médias

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 et al, 2001)

5.2.3.1. Elevatória

Segundo LEGNER (2019), as Elevatórias apresentam a seguinte definição:

“As estações elevatórias de esgoto (EEE) são unidades do sistema de tratamento de esgoto que contam com bombas e tanques que aumentam a pressão do efluente em um sistema de captação. Desse modo, é possível bombear o esgoto sanitário que não consegue escoar naturalmente pelas

tubulações pela força da gravidade de áreas mais baixas para sistemas de tratamento que estão em um nível mais elevado. Durante o processo, a quantidade de sólidos atinge um volume capaz de provocar entupimentos e causar outros danos às tubulações. Desta forma uma estação elevatória de esgoto também age na retirada de parte desses resíduos sólidos, pois conta com uma rede de esgoto equipada com dispositivos que permitem a remoção desses itens. Ela funciona como uma espécie de filtro e geralmente está equipada com dispositivos de pré-tratamento como grades, barras ou cestos. ”

LEGNER (2019), resume bem a origem do mau cheiro originado das estações de tratamento de efluentes e esgoto é uma adversidade recorrente nos dias atuais e chega a se enquadrar em uma situação de saúde pública. A predominante causa desses odores, seja na estação elevatória de esgoto (EEE) ou na própria Estação de Tratamento (ETE), é a decomposição da matéria orgânica presente nos efluentes. Essa decomposição ocorre quando o oxigênio dissolvido no esgoto é exaurido. Dessa forma, apenas as bactérias anaeróbias que produzem gás durante o processo de decomposição, incluindo o sulfeto de hidrogênio que cheira a "ovo podre", ficam vivas no sistema. Assim, os odores presentes no processo têm origem, em sua maioria, nos compostos sulfurados, incluindo o ácido sulfídrico (H_2S), que por sua vez é formado a partir da redução do sulfato, principal forma de enxofre presente no esgoto, e também pela decomposição anaeróbia da matéria orgânica, que pode promover a maior liberação de mercaptanos (CH_3SH) e amônia (NH_3). A emissão de odores correlacionados às ETEs e as EEE enquadram-se, atualmente, como um dos impactos ambientais mais sensíveis. Os compostos de odor produzidos nesses processos, se a concentração for alta, não só ameaçam a rápida deterioração dos equipamentos eletromecânicos e edifícios civis, mas também ameaçam a saúde dos operadores e das comunidades próximas.

5.2.3.2. Reatores UASB

O tratamento de esgotos sanitários é uma demanda ambiental cada vez mais necessária e indagada pela sociedade nos dias atuais. O avanço tecnológico propiciou o desenvolvimento de diversos meios para alcançar a recuperação e o tratamento do esgoto. No Brasil, uma das tecnologias empregada aos sistemas de tratamento que mais se adaptou às condições de clima (tropical), às limitações financeiras (volume de investimentos) e até mesmo às demandas ambientais imediatas (remoção da elevada carga orgânica lançada aos afluentes), foi a

tecnologia anaeróbia, especialmente aquela que emprega reatores de manta de lodo, UASB, (SOUZA, 2006).

No processo biológico anaeróbio usado para tratar o efluente gerado, ocorre uma reação bioquímica, que proporciona a transformação da matéria orgânica original, exaurindo grande parte do oxigênio (DBO) presente no esgoto e também levando à formação de gases no processo, como metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). Por outro lado, na ausência de oxigênio (sistema anaeróbio), a contribuição de compostos de enxofre aumenta a formação de H_2S (sulfeto de hidrogênio), que é um gás desagradável (cheiro de ovo podre). Sendo assim, devido à promoção da poluição do ar pelos gases gerados no processo faz com que tal situação traga transtornos para a estação de tratamento de esgoto e seus arredores (GLÓRIA, 2009).

5.2.3.3. Lagoas de Estabilização Anaeróbias

As lagoas anaeróbias são consideradas na atualidade como uma das principais opções para a retirada de poluentes orgânicos do esgoto, porém, carecem de serem consideradas como a fase inicial do tratamento, pois como qualquer outro reator anaeróbio, o esgoto por eles produzido não possui oxigênio diluído, apresentando altas concentrações de amônia e sulfetos indesejáveis, tornando-se necessário posteriormente a implantação de um processo biológico aeróbio no tratamento (MONTEGGIA E SOBRINHO, 1999).

Semelhante às grandes fossas sépticas, a matéria orgânica suspensa no processo é depositada na parte inferior do dispositivo, onde entra na digestão anaeróbia. A matéria orgânica empregada no líquido também sofre uma estabilização anaeróbia parcial. Devido à maior atividade bacteriana ser em altas temperaturas, essas lagoas são mais eficazes no verão do que no inverno, tais lagoas apresentam tamanho projetado para suportar uma alta carga orgânica, resultando em nenhum oxigênio dissolvido no meio líquido (UEHARA, 1989).

Segundo VON SPERLING (2002), as bactérias anaeróbias se reproduzem lentamente apresentando taxa de estabilização muito lenta, na qual sua alta concentração pode causar sérios problemas ambientais. Como o DBO condiz a uma grande parcela de matéria orgânica no meio, faz com que se utilize da decomposição anaeróbia no processo, resultando em substâncias que reduzirão a

qualidade da água. Os principais gases envolvidos na degradação anaeróbia são: dióxido de carbono, amônia, metano, mercaptanos, ácidos graxos, fenóis e aminoácidos.

5.2.3.4. Tratamento do Lodo

O tratamento do lodo gerado a partir da recuperação do esgoto é fundamental para diminuir as chances de contágio e desenvolvimento de doenças pela presença de organismos patogênicos, além de buscar reduzir os odores gerados no processo (FERNANDES, 2001).

Segundo VON SPERLING (1997), a composição do lodo contém uma variedade de poluentes, nomeadamente elevadas concentrações de microrganismos, por se tratar de um resíduo produzido pelo tratamento de esgotos gerados pela atividade humana. Muitos destes microrganismos são patogênicos causadores de doenças, ou seja, refletem diretamente na saúde das pessoas e nas condições sanitárias básicas de cada região, tornando imprescindível que esses atributos sejam cuidadosamente estudados.

De acordo com VON SPERLING (1997), a principal etapa no tratamento de lodo que gera odor está correlacionada a problemas operacionais nos adensadores, pois o acúmulo de lodo no fundo dos adensadores favorece a decomposição anaeróbia e a consequente produção de H_2S e outros compostos de enxofre, pelo fato de ocorrer um processo de fermentação do lodo nos adensadores, sendo necessário diminuir cada vez mais o tempo de detenção do material nesses adensadores. Além dos adensadores, pode promover a geração de odor no tratamento de lodo nas seguintes etapas: Manejo e Tratamento de Lodo, processos como adensamento, digestão, desidratação, secagem e estocagem são fontes em potencial para geração de odores desagradáveis.

No decantador, o odor é causado pela presença de lodo ativado, que por sua vez se encontra na superfície do decantador, na qual, corriqueiramente nas estações de tratamento de esgoto ocorre a remoção biológica do nitrogênio, outro fator que contribui para a emissão do odor é o longo período de retenção do lodo nessa parte do sistema.

5.2.3.5. Pré-Tratamento

O pré tratamento simboliza a separação dos sólidos nos efluentes. Geralmente, dois processos são usados nesta etapa: o gradeamento e a desarenação. O primeiro é através de grades metálicas, que é uma barreira para os sólidos. Eles são eventualmente capturados por eles e, em seguida, os sólidos maiores são removidos (VON SPERLING, 2014).

A desarenação tem a função de remover os detritos de areia por meio da sedimentação. Nesse estágio, as partículas de areia entram no fundo da calha devido ao seu peso, enquanto a matéria orgânica entra na superfície, ocasionando um acúmulo elevado de carga orgânica no local.

No pré-tratamento realizado nas ETE's, ocorre um acúmulo muito grande de matéria orgânica em locais do sistema, como nos canais, grades e nas esteiras transportadoras, além desses locais, fica um acúmulo grande também nas caixas de areia e desarenadores, sendo normalmente grandes fontes de odores.

5.2.4. Compostos Odorantes

Segundo PROKOP (1996), os compostos odorantes são gases orgânicos e inorgânicos irradiados de fontes industriais. O sulfeto de hidrogênio e amônia são um dos principais exemplos de gases inorgânicos nocivos à saúde humana. A grande maioria desses compostos odorantes procedem de atividades biológicas ou estão empregados no processo que resulta no lançamento de substâncias químicas ao meio externo. Grande parte das substâncias odorantes são frutos da decomposição aeróbica da matéria orgânica que possui enxofre e nitrogênio na composição. De acordo com LUDUVICE et al. (2015), os principais compostos químicos odorantes emitidos nas ETE's e suas características associadas são os seguintes (Tabela 5).

Tabela 5 – Principais compostos químicos odorantes das ETE's

H ₂ S (Gás Sulfídrico)	Formado à partir da ação de micro-organismos sobre sulfatos e outros compostos de enxofre em condições anaeróbias. Pode ser encontrado nos esgotos afluente a ETE, quando o tempo de retenção no sistema coletor for elevado (ex.: regiões metropolitanas). Em ETEs o H ₂ S é produzido nos decantadores primários, adensadores por gravidade, tanques de estabilização e áreas de manejo de lodo. É facilmente liberado para a atmosfera. Possui odor desagradável, semelhante ao de "ovo podre" sendo detectado pela maioria dos indivíduos em concentrações extremamente baixas, 2-4 ppb. É letal em concentrações acima de 300 ppm. Ataca o concreto, ferro, além de outros metais.
NH ₃ (Amônia)	Geralmente encontrada nos esgotos em concentrações relativamente baixas de até 100 mg/l. Amônia também é produzida à partir da quebra dos compostos orgânicos nitrogenados durante o tratamento anaeróbio de lodos. A concentração de detecção é a mesma da concentração limite de exposição ocupacional, 5 ppm, o que significa que quando presente em concentrações perceptíveis a amônia representa também um risco potencial a saúde do operador.
Aminas	Compostos orgânicos que contém o grupo amina (R-NH ₂), sendo o mais conhecido a trietilamina (CH ₃ CH ₂) ₃ N detectável em concentrações de 0,2 ppb e responsável pelo "cheiro de peixe" muitas vezes observado.
Ácidos Orgânicos, Aldeídos, Cetonas, e Esteres	Grande variedade de compostos químicos. Todos com odor desagradável e baixa concentração de detecção.

Fonte: (ADAPTADO DE LUDUVICE ET AL. 2005)

5.3. Sulfeto de Hidrogênio (H₂S)

O sulfeto de hidrogênio ou gás sulfídrico, é um composto químico acromático, ou seja, incolor, que se sobressai ao ar por ser mais denso, composto esse que apresenta um odor desagradável, muito parecido ao cheiro de um ovo podre. Essa substância química pode surgir mediante a decomposição de matéria orgânica pela ação de bactérias anaeróbias no processo. Segundo a NR 15 atualizada de 2019, o grau máximo de insalubridade permitido à exposição é de 8 ppm, pois o risco à saúde é elevado quando submetido a exposição aguda ao composto (BRASIL M. d., 2002).

De acordo com GODISH (1991), o gás sulfídrico é um composto químico muito tóxico aos seres humanos, pois se combina com o ferro do citocromo e mais várias outras substâncias que contêm ferro como predominante na célula (SILVA, 2008).

O H_2S é originado a partir da diminuição do sulfato (SO_4^{2-}) ou tiosulfato e é a substância odorante mais comum atribuída aos odores exalados pelo esgoto, embora exista outros compostos odorantes à base do enxofre que emanam odor tão quanto o H_2S no processo, sendo assim, por apresentar concentrações maiores entre os compostos odorantes, o H_2S acaba predominando nos odores emitidos nas ETE's (VAN LANGENHOVE; de HEYDER, 2001).

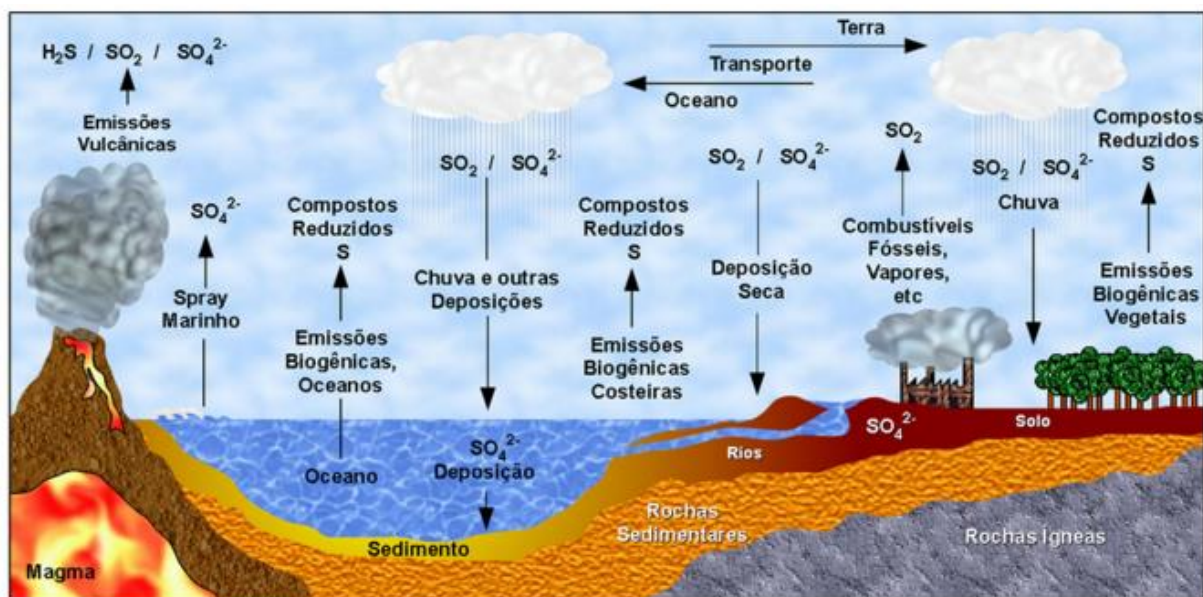
5.4. Ciclo do Enxofre

O enxofre é um constituinte muito importante para vida na Terra, sendo um dos principais componentes na escala de importância biológica. Certos organismos vivos, incluindo plantas, integram espécies contendo enxofre, enquanto por outro lado, são emitidas várias outras formas de enxofre na figura de metabolismo como produto final (MARTINS et al., 2003).

O ciclo do enxofre foi retratado no passo a passo da Figura 5, porém, de acordo com o MARTINS (2003), o ciclo do enxofre do ser compreendido da seguinte maneira:

“O Ciclo do Enxofre pode ser compreendido como um conjunto de transformações entre as espécies de enxofre presentes na litosfera, hidrosfera, biosfera e atmosfera. O ciclo do enxofre é basicamente sedimentar e seus principais reservatórios são o subsolo, as rochas e os minerais. As principais espécies gasosas que chegam à atmosfera são o SO_2 , produto principalmente da combustão e erupções vulcânicas, o H_2S , emitido por águas ou regiões úmidas do continente que contêm pouco oxigênio e, dimetilsulfeto emitido por fitoplânctons existentes na superfície dos oceanos. Na água, a forma do enxofre mais comum dissolvida é o sulfato (SO_4^{2-}). No processo de redução de sulfato (SO_4^{2-}) a sulfeto (S_2^{2-}), parte deste, ao reagir com íons metálicos é fixado na litosfera, na forma de rochas e sedimentos.”

Pode-se assumir que o planeta Terra é um sistema fechado em termos de fluxo de massa, sem entrada ou saída de material.

Figura 5 – Representação gráfica do Ciclo do Enxofre

Fonte: (ADAPTADO DE MARTINS E ANDRADE 2002)

5.5. Ciclo do Nitrogênio

O nitrogênio é um componente que compõe cerca de 78% da atmosfera. No entanto, mesmo com essa abundância, na maioria dos ecossistemas terrestres e marinhos, a falta de nitrogênio ainda é um dos fatores limitantes mais importantes para a produtividade. Em todos os tecidos vivos, o nitrogênio é uma parte indispensável de todas as enzimas e outras proteínas, bem como do DNA molecular que define a vida (ADUAN, 2004).

O nitrogênio na atmosfera existe no estado mais inerte, na forma de N_2 (ligação tripla covalente), portanto, para que o nitrogênio seja utilizado pelos organismos, é necessário quebrar esta ligação e converter o nitrogênio em uma molécula mais reativa. Por exemplo, amônia (NH_3), amônio (NH_4^+) ou nitrato (NO_3^-), que é a conversão realizada pelo ciclo do nitrogênio (ADUAN, 2004). Este importante ciclo envolve vários processos (Figura 6), como fixação, nitrificação e desnitrificação.

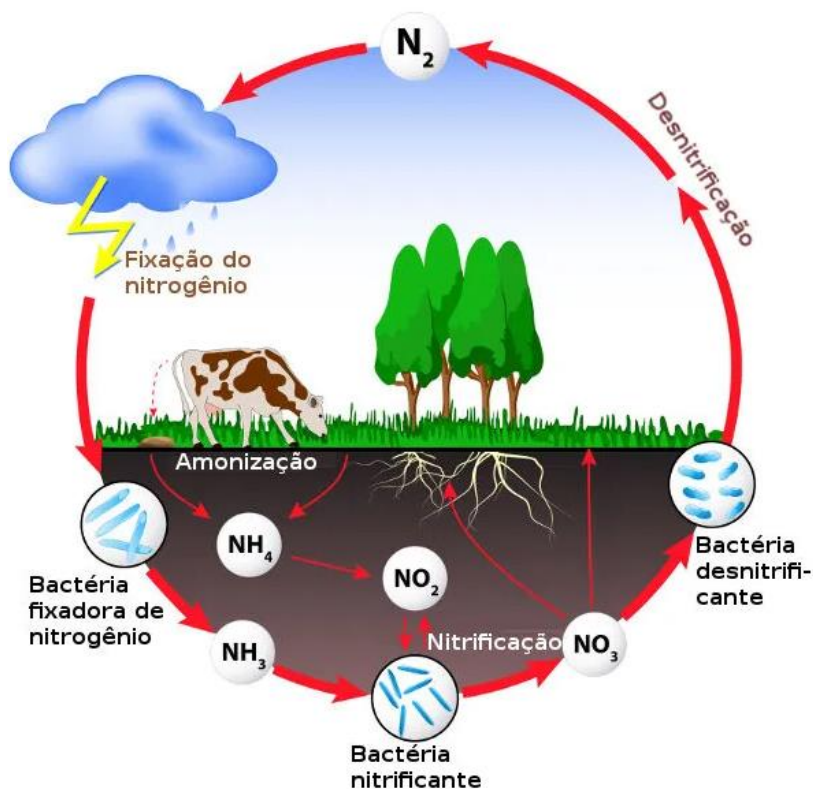
O ciclo do nitrogênio carece da participação de certas bactérias no processo. De acordo com MARTINS (2003), o ciclo se dá da seguinte forma:

“Qualquer processo que resulte na transformação do N_2 da atmosfera em outros compostos de nitrogênio é denominado de fixação de nitrogênio. Um grande número de bactérias pode converter o nitrogênio gasoso a amônia (NH_3) ou íons amônio (NH_4^+), por meio de redução catalisada por enzimas, em processo conhecido como fixação biológica de nitrogênio que

representa 90% de toda a fixação de origem natural. O nitrogênio também pode ser oxidado a nitritos (NO_2^-) ou nitratos (NO_3^-) num processo chamado de nitrificação, o qual é facilitado pela presença de certas bactérias. A redução de nitrato (NO_3^-) a espécies de nitrogênio sob forma de gás (N_2 , N_2O , NO), ocorre em processos químicos e biológicos e é denominada de desnitrificação. Como resultado deste processo, o N_2 atmosférico constitui o principal reservatório de nitrogênio na Terra.”

Traços de componentes como óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO_2), ácido nítrico (HNO_3) e amônia (NH_3) são quimicamente reativos e desempenham um papel importante nos problemas ambientais contemporâneos, incluindo formação e precipitação ácida (Chuva ácida), poluição atmosférica, destruição do aerossol atmosférico e da camada de ozônio e produção de odores (MARTINS, 2003).

Figura 6 – Representação gráfica do Ciclo do Nitrogênio



Fonte: (BRASIL ESCOLA)

5.6. Amônia (NH_3)

A amônia é um gás incolor à temperatura ambiente, tem um odor forte e é muito mais leve que o ar (densidade relativa com o ar, 0,5963). Seu ponto de fusão e ponto de ebulição são $77,7^\circ\text{C}$ e $33,35^\circ\text{C}$, respectivamente. É facilmente solúvel

em água, pois a 20 ° C e 1 atmosfera de pressão, 1 volume de água pode dissolver 702 volumes de amônia para formar uma solução alcalina. No entanto, pode ser facilmente removido da água fervendo-o. No estado líquido, é um dos solventes mais usados para estudar reações químicas (FÉLIX, 2004).

Segundo, FÉLIX (2004), na atmosfera, o tempo de residência da amônia varia de 1 a 2 semanas e pode ser retirado por processos físicos ou químicos de deposição seca e úmida. As principais reações que levam ao consumo de amônia gasosa incluem a oxidação para formar NO_x e a reação com substâncias ácidas para formar partículas secundárias. Nessas partículas, a amônia existe na forma de sais de amônio e, dependendo das condições de umidade e temperatura que afetam o equilíbrio químico, essas substâncias podem sofrer conversão mútua. Portanto, é mais conveniente expressá-lo geralmente como NH_x.

A concentração de amônia (NH₃) no esgoto é relativamente baixa, até 100 mg / l, e a concentração acima desse valor está relacionada a efluentes industriais com proteínas em altíssima concentração. O limite de amônia a que uma pessoa pode ser exposta nas 8 horas diárias de trabalho sem causar danos à saúde é de 30 ppm. Porque depois de permanecer em um ambiente contaminado por amônia por um maior período de tempo, a perda da sensibilidade específica do olfato é muito comum, portanto, é necessário nesses locais uma boa ventilação e uma fácil operação (FELIX, 2004).

5.7. Impacto Socioambiental Ocasionado Por Emissões Odorantes

A avaliação do impacto ambiental ocasionado pela exalação de odores provenientes das ETE's, é fundamental para a qualidade de vida das pessoas ao entorno da estação e que trabalham na mesma. Uma pesquisa conduzida por BROSTEL E SOUZA (2005), classificaram que os principais impactos correlacionados a inalação do odor se deve à saúde e ao meio ambiente.

Segundo GRASEL (2014), o odor é uma sensação causada por moléculas de diferentes naturezas que em contato com o sistema olfatório provocam impulsos redirecionados ao cérebro. Uma vez processado, o odor conecta a substância odorífera com a memória olfativa do indivíduo. Além do desconforto, os gases odoríferos também podem causar problemas de saúde e, dependendo da concentração, podem originar a síndrome do desconforto respiratório, danos

neurológicos e até mesmo a morte de pessoas nas comunidades do entorno da fonte.

5.7.1. Tratamento de esgotos e reclamações sobre odores

REYNOLDS (2014) listou as 10 maiores ETE's do mundo. Dentre elas, 8 apresentavam como tratamento de esgoto um sistema anaeróbio. As ETE's elencadas estão localizadas nos EUA nas cidades de Boston, Detroit, Los Angeles e Washington, na China em Shanghai e Hong Kong, em Cairo no Egito em Paris na França e no Japão em Tokyo. Por conterem sistemas anaeróbios para o tratamento, estas estações emitem certos compostos odorantes, como o sulfeto de hidrogênio.

Reportagens difundidas em diversas partes do mundo relatando reclamações sobre o mau-cheiro próximo às ETE 's, comprovam que esse tipo de impacto ambiental que prejudica a saúde humana ocorre em todo o planeta.

No Brasil, são corriqueiras as reclamações, acerca do odor emitido por ETE's nas regiões circunvizinhas a estação, por exemplo, reportagens como a do jornal Cruzeiro do Sul, de Sorocaba, SP, na qual relatou denúncias a respeito das reclamações dos moradores em virtude do mau cheiro atribuído a ETE Guimarães, notícias como estas são frequentes nos jornais em todas as regiões do Brasil. Em certos casos as reclamações se tornam processos judiciais, ações no Ministério Público ou formação de Comissões de Inquérito, conforme ocorrido em Araucária, PR (JORNAL O POPULAR DO PARANÁ, 2014).

Estas reportagens e informações provaram que mesmo em países com legislação e controles para a emissão de odores muito rígidos, os problemas relacionados aos odores gerados nas ETE's continuam afetando a população local.

5.7.2. Problemas relacionados à poluição por H₂S

Sobre a influência da ação dos sulfetos, AZEVEDO et al. (1999) listou a ocorrência de corrosão de materiais como cobre, concreto, latão, bronze, monel (cobre e níquel) e prata, danos a equipamentos elétricos e corrosão de estruturas metálicas de suporte, como bombas, escadas de marinho e tubos forjados, etc.

O sulfeto de hidrogênio pode causar danos em áreas agrícolas, reduzir a produtividade das lavouras e prejudicar o meio ambiente em geral. No entanto, ainda

pode levar à deterioração do patrimônio cultural e à desvalorização das propriedades (USEPA, 2003).

GONÇALVES, ROCHA E CARDOSO (2009) apontaram que durante o tratamento anaeróbio, o sulfeto pode causar alguns problemas físicos e químicos (corrosão, odor, aumento da concentração da demanda química de oxigênio (DQO) em águas residuais) e problemas biológicos (toxicidade, inibir o metabolismo de microrganismos) devido à produção de sulfeto de hidrogênio.

5.7.3. Avaliação do risco à saúde pela exposição ao H₂S

Segundo o MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, o gás sulfídrico pode causar vários danos à saúde, como os citados a seguir:

“O gás sulfídrico é um gás extremamente tóxico e irritante, que atua sobre o sistema nervoso, os olhos e as vias respiratórias. Destaca-se pela inibição da citocromo oxidase, levando ao bloqueio da respiração celular no interior das células. No sistema nervoso central causa excitação seguida de depressão, particularmente no centro respiratório, fraqueza, dor de cabeça, náusea, vômito, hiperexcitabilidade, alucinações, amnésia, irritabilidade, delírio, sonolência, fraqueza, convulsões e morte. No sistema respiratório provoca tosse, às vezes com sangue, espasmo brônquico, às vezes edema agudo de pulmão, traqueobronquite, broncopneumonia tardia, rinite com anosmia (perda do olfato). A perda do olfato resulta da interação do H₂S com o zinco (Zn), que é importante nas reações de percepção do olfato. A fadiga olfatória ocorre em 2 a 15 minutos, em concentrações acima de 100 ppm. Desta forma, o odor do H₂S não é parâmetro seguro para se avaliarem concentrações perigosas. ”

A Tabela 6 apresenta os efeitos do gás sulfídrico de acordo com a concentração e tempo de exposição.

Tabela 6 – Efeitos da exposição ao Gás Sulfídrico (H₂S)

Concentração do H ₂ S (ppm)	Tempo de Exposição	Efeitos
0,0005 - 0,13	1 minuto	Percepção do odor
10-21	6-7 horas	Irritação ocular
50-100	4 horas	Conjuntivite
150-200	2-15 minutos	Perda do olfato
200-300	20 minutos	Inconsciência, hipotensão, edema pulmonar, convulsão, tontura e desorientação
900	1 minuto	Inconsciência e morte
1800-3700	Instantes	Morte

Fonte: (BRASIL M. d., 2002)

A exposição é predominante via a inalação do gás, que rapidamente é absorvido pelos pulmões. A absorção pela pele é mínima. Contudo, se a exposição continuar em um nível baixo ou em uma concentração elevada, mesmo que o gás ainda esteja presente (fadiga olfativa), a pessoa perderá a capacidade de cheirar o gás. Isso pode acontecer rapidamente e, em altas concentrações, a capacidade de detectar os gases será perdida imediatamente, o que pode ser fatal (OSHA, 2005).

5.8. Alternativas De Tratamento De Odor

Segundo SILVA (2020), existem várias tecnologias que aplicam métodos físicos e químicos para lidar com odores, como oxidação térmica, lavagem química, ozonização e adsorção de carvão ativado, além dos métodos biológicos como biolavadores, biofiltração e biopercolação. A Tabela 7 apresenta alternativas para o tratamento de odores.

Tabela 7 – 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)

Os principais métodos são: Compostos Químicos, Biofiltração e a Coluna de Adsorção.

5.8.1. Compostos Químicos

A aplicação de produtos químicos em rede coletora de esgoto para amenizar o odor é um método adequado para grandes áreas urbanas, onde o esgoto na rede coletora tem um longo tempo de residência, de forma que o esgoto entre na ETE em estado séptico. Os principais produtos químicos usados são: oxigênio puro, nitrato, peróxido de hidrogênio, cloro, permanganato de potássio e sais metálicos (AUGUET et al., 2015).

O controle da emissão / liberação de H_2S pela adição de nitrato (NO_3^-) ocorre por meio de dois mecanismos, seja pela promoção da atividade de microrganismos nutrientes inorgânicos químicos, seja pelo desenvolvimento de bactérias redutoras de nitrato heterotróficas (bactérias desnitrificantes) (AUGUET et al., 2015).

Se a concentração de oxigênio dissolvido (OD) no esgoto for maior que $1,0 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$, além da oxidação química do sulfeto dissolvido, a oxidação biológica das espécies de sulfeto dissolvido difundidas do ambiente anaeróbico existente ocorrerá na biomassa profunda do esgoto (PARK et al., 2014).

A injeção de O_2 ou aeração simples realmente promove a oxidação química e biológica. No entanto, alguns compostos são oxidantes fortes e geralmente são usados para reagir com compostos que causam odor e corrosão e os convertem por meio de reações oxirredução. O peróxido de hidrogênio (H_2O_2) é um exemplo de um oxidante forte que reage com os compostos redutores encontrados no esgoto, incluindo espécies de sulfeto dissolvido (por exemplo, HS^-). A principal vantagem do uso desse oxidante é que, além de sulfetos oxidantes, ele também se decompõe em H_2O e O_2 (TOMAR & ABDULLAH, 1994).

5.8.2. Biofiltração

Para BELLI FILHO & LISBOA (1999) e CARVALHO et. al. (2001), a tecnologia de desodorização por filtração biológica envolve a passagem de gases malcheirosos no ar através de um meio de suporte, geralmente composto de materiais orgânicos e inorgânicos, no qual microorganismos aderem na forma de biofilme. Diversos estudos científicos relatam que esses dispositivos apresentam boa eficiência no tratamento de gases tóxicos liberados por dispositivos de

tratamento de efluentes sanitários. Segundo ARNESEN E SAMPAIO (2013), embora o filtro biológico exija uma área de implantação maior do que as torres lavadoras, as principais vantagens do filtro biológico são baixo investimento e custos operacionais, operação e manutenção mais simples e ausência de resíduos químicos que requeiram tratamento e destinação adequada.

A biofiltração se utiliza de microrganismos fixos em um meio poroso para extrair os poluentes impregnados no ar. Os microrganismos se desenvolvem no biofilme formado na superfície do meio, ou são suspensos no meio aquoso que envolve as partículas do meio. Quando o ar passa pelo leito, os poluentes contidos no ar são absorvidos pelo biofilme do meio filtrante, onde são destruídos (DEVINNY et al, 1999).

5.8.3. Coluna de Adsorção

A desodorização mais eficiente desse sistema pode ser alcançada passando o ar poluído por um meio absorvedor contendo compostos químicos responsáveis pela oxidação ou desativação de odorantes. O carvão ativado tornou-se o principal meio de adsorção devido à sua alta eficiência e custo relativamente baixo. O sucesso desse processo depende de um ambiente livre de umidade e poeira e da manutenção corriqueiramente do adsorvente (AUGUSTO et al, 2010).

A superfície de um adsorvente engloba todas as áreas acessíveis, para que possa ser estendido a sólidos contendo redes de poros internos, incluindo sólidos com diâmetros de tamanho molecular. Um processo de adsorção típico, consiste em colunas verticais preenchidas com suportes estáticos de material granular (AUGUSTO et al, 2010).

Vantagens: Custo de capital moderado, simplicidade mecânica, devido ao curto tempo de retenção ocupam áreas pequenas, estável, confiável e de alto desempenho, quando combinados com um adsorvente com afinidade pelo H_2S , pode remover seletivamente o H_2S do processo (AUGUSTO et al, 2010).

5.9. Dificuldade de implantação de medidas para controle do odor nas ETES

A principais dificuldades relacionadas a implantação de medidas eficiente no combate e controle de odor nas ETE's está associado em sua maioria aos

elevados custos operacionais para a implantação dos sistemas, como por exemplo, a coluna de adsorção requer uma manutenção e estoque de carvão ativado em grande escala, com elevado custo aquisitivo. Outra dificuldade enfrentada corriqueiramente é a modificação da estrutura do sistema de tratamento para se adaptar as medidas restritivas ou a qualificação da equipe para essas novas medidas. Tudo contribui de certa forma para o tardio avanço nessa área, sem contar que as fiscalizações sem normas robustas não intimidam as grandes concessionárias a tomarem alguma atitude. Além das dificuldades citadas, podemos correlacionar também os projetos antigos e sem soluções, na qual, a única alternativa a desativação da estação, pois apresentam equipamentos degradados, processos retrógrados e costumam receber cargas orgânicas maiores que para quais foram projetas inicialmente (AUGUSTO et al, 2010).

5.10. Legislação

No Brasil, ainda não têm legislação federal para estabelecer os limites aceitáveis ocasionados pela emanção e impacto de odores com base em procedimentos olfativos, ou seja, odores não são poluentes regulamentados pelo governo federal. A legislação ambiental existente de N°6.938, de 31 de agosto de 1981 fornece uma base para a solução de problemas por meio de uma série de mecanismos, como ferramentas de política ambiental nacional (zoneamento, licenças, estudos de impacto e padrões de qualidade ambiental) e diretrizes e padrões de controle da poluição. No entanto, faltam métodos e padrões objetivos para enfrentar esse problema (VIEIRA, 2013).

A RESOLUÇÃO CONAMA N° 003 EMITIDA EM 28 DE JUNHO DE 1990 (normativa que estabelece padrões de qualidade do ar) não prescreveu padrões de qualidade do ar para o sulfeto de hidrogênio e quaisquer outros gases tóxicos emitidos nas Estações de Tratamento de Esgoto (VIEIRA, 2013).

As supostas “leis de odor”, existem categoricamente em quatro tipos de abordagens reguladoras para o controle de incômodos olfativos, são elas: padrão mínimo de distância, padrão máximo de emissão, padrão máximo de impacto e padrão máximo de incômodo. No entanto, este método geralmente não considera a sensibilidade do meio receptor, nem faz distinção entre o tipo e tamanho da

instalação ou o tamanho da emissão. Dessa forma, eles se tornam ineficientes. (FRECHEN, 2001).

No Brasil, alguns estados estabeleceram padrões para a poluição do ar por compostos odoríferos, por exemplo, em Santa Catarina, a Lei nº 5.793, de 15 de outubro de 1980, limita a percepção do odor, e o valor do sulfeto de hidrogênio é de 0,00047 mg / m³ no máximo. A lei de São Paulo nº 997, o Decreto nº 8468/76, artigo 33 estipula: “fica proibido a emissão de substâncias odoríferas na atmosfera em quantidades que possam ser perceptíveis fora do limite da área de propriedade da fonte emissora. ” A necessidade de legislação para emissão de gases odorantes é evidente no Brasil. Então, estudos devem ser realizados para tal regulamentação (VIEIRA, 2013).

6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia empregada consistiu em dois estudos, sendo eles: a caracterização da área de análise e o detalhamento dos compostos odoríferos produzidos nessas ETE's juntamente com os seus métodos de ensaio, para que mais adiante, no tópico dos resultados, seja atribuído o levantamento de possíveis soluções para o problema e a análise das legislações em vigor referentes ao controle de odor e padrões de qualidade do ar, correlacionando-as com a situação atual das ETE's de Palmas – TO.

6.1. Caracterização da área de análise

Desde 2009, o Instituto Trata Brasil, em parceria com a GO Associados, divulga o Ranking do Saneamento Básico no Brasil, estudo esse que apresenta os indicadores dos serviços de água e esgoto nas 100 maiores cidades brasileiras levando em conta a estimativa do IBGE.

De acordo com o Instituto, a capital do Tocantins, Palmas, passou da 28ª colocação no ano de 2020 para a 13ª posição no ano de 2021 e entre as capitais a cidade ocupa um honroso segundo lugar atrás apenas da capital de São Paulo. O estudo reforça também que Palmas está entre as capitais que mais investiram em saneamento por habitante entre os anos de 2015 e 2019, com um valor estimado de R\$161,47 enquanto, segundo a PLANSAB, a média nacional é de R\$113,30. A

edição de 2021 do ranking também destaca Palmas com 100% de cobertura no atendimento urbano de água e 88,22% no indicador de atendimento da rede de esgoto urbano, na qual, 100% do volume coletado é tratado.

Segundo os dados, Palmas apresenta uma sonora evolução em seu saneamento com bastante investimento por parte da concessionária responsável, porem um assunto de extrema importância vem sendo deixado de lado pela a mesma, que é a produção de odor no processo de tratamento de esgoto. Segundo o Parecer Técnico da Defensoria Pública do Estado do Tocantins, as Estações de Tratamento de Esgoto ETE Norte e ETE Aurenny exalam forte odor, sendo palco recorrente de litigio entre a comunidade e a prestadora de serviço BRK Ambiental. A situação retratada mostra a importância do presente trabalho para com a comunidade do município de Palmas – TO.

6.1.1. Localização

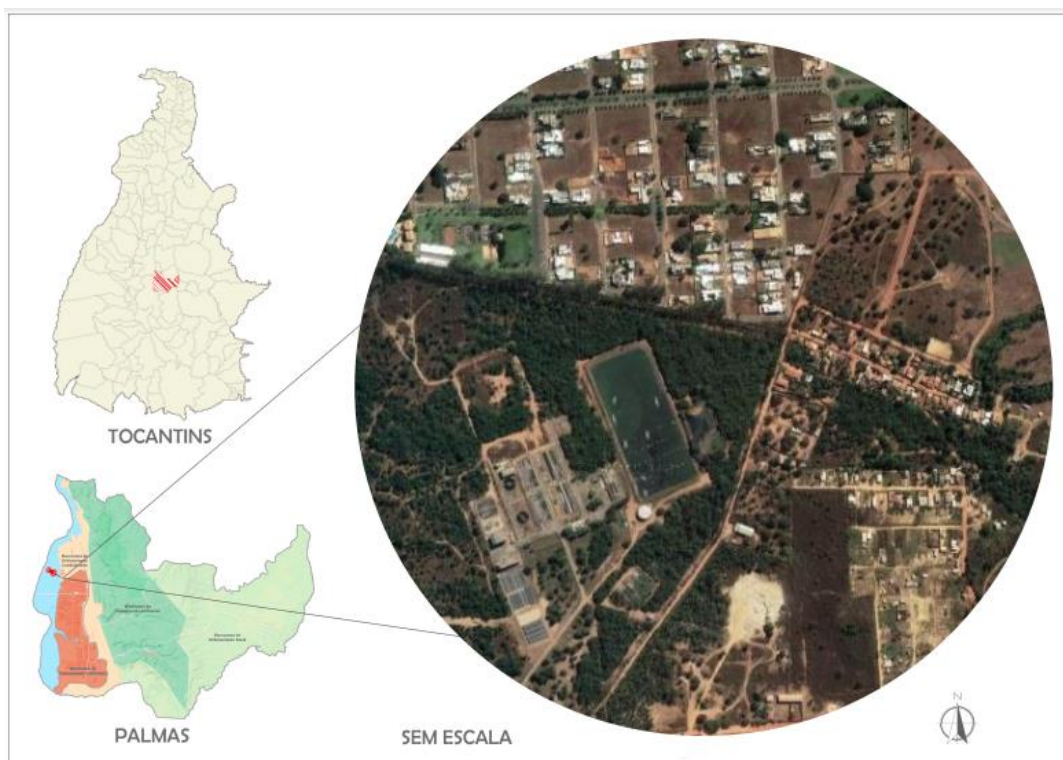
6.1.1.1. ETE Norte

A Estação de Tratamento de Esgoto – ETE Norte está situada no Projeto Assentamento Área Verde, Gleba 03, Chácara 134, 145 e 146, em Palmas – TO, Brasil conforme retrata a Figura 7. Sendo relatado que esta ETE é capaz de tratar cerca de 830 mil litros de esgoto por hora, 24 horas por dia, e atende as Bacias dos córregos Sussuapara, Brejo Cumprido e Água Fria, sendo localizada na região norte da cidade.

A região citada, na qual a ETE se encontra instalada, fica próximo ao Polinésia Residence & Resort, na qual é um condomínio de alto padrão, que por sua vez fica perto do Loteamento Água Fria conforme mostra também a Figura 7. O acesso à região se dá principalmente pela Avenida LO 12, onde há relatos de que é possível sentir maus odores já na entrada do Loteamento.

O Condomínio em estudo possui infraestrutura já instalada, com ruas pavimentadas, rede elétrica e de abastecimento de água. Já a situação do loteamento Água Fria é mais precária, pois não possui infraestrutura de vias pavimentadas, contendo apenas fornecimento de água e energia.

Figura 7 – Localização da ETE Norte e da vizinhança ao entorno.



Fonte: (Autor)

6.1.1.2. ETE Aurenny

A Estação de Tratamento de Esgoto – ETE Aurenny (atualmente nomeada ETE União Sul) está localizada próxima a ponte sobre o Ribeirão Taquaruçu, no setor Aurenny III, no plano diretor sul, em Palmas – TO, Brasil conforme retrata a Figura 8. E, após várias adaptações de projetos, esta ETE é capaz de tratar uma vazão de 95 litros por segundo.

A região citada, na qual a ETE se encontra instalada, fica também próximo às sub-regiões Bertaville e Irmã Dulce (Figura 8), que por sua vez estão localizadas ao extremo sul da cidade de Palmas, Tocantins.

A comunidade em estudo já possui infraestrutura instalada, ruas pavimentadas, energia elétrica e abastecimento público de água, também sem rede coletora de esgoto. O acesso à área se dá principalmente pela Avenida Joaquim Teotônio Segurado, onde, segundo relatos, em determinadas épocas do ano é possível sentir odores desagradáveis já na avenida.

Figura 8 – Localização da ETE Aurenly e da vizinhança ao entorno.



Fonte: (Autor)

6.1.2. Clima

A classificação climática de Palmas pertence a tipologia de clima úmido, com escassez moderada de água no inverno C2WA'a', na qual se caracteriza por duas estações distintas, uma seca e outra chuvosa (SILVA JÚNIOR, 2016).

A estação mais quente do ano vai de 14 de agosto a 1 de outubro, e apresenta temperatura média diária acima de 34 °C. A estação fria vai de 27 de novembro a 9 de abril, e a temperatura diária fica em média abaixo de 31 °C. A temperatura média anual está geralmente entre 20 °C e 35 °C e, em casos raros, é inferior a 18 °C ou superior a 37 °C. (WEATHER SPARK, 2019).

A incidência do vento em um determinado local depende essencialmente da topografia da região e de outros fatores. A velocidade do vento e as suas mudanças de trajetória variam corriqueiramente e de forma repentina, bem mais do que o relatado em suas médias horárias. A estação mais ventosa do ano é de 5 de junho a 11 de outubro, na qual a velocidade média do vento ultrapassa 9,6

quilômetros por hora. O sentido mais comum do vento na região é o que vem da região Norte e da região Leste (WEATHER SPARK, 2019).

6.1.3. Processos de Tratamento de Esgoto ETE Norte

Segundo LIMA (2020), as etapas de tratamento de esgoto da ETE Norte consistem em um sistema na qual é empregado no tratamento preliminar redes mecanizadas de gradeamento, coletores de areia, elevatórias e medidores de vazão tipo calha Parshall. O tratamento primário é realizado em um reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB) para que ocorra a digestão anaeróbia da matéria orgânica.

Na etapa seguinte, o tratamento secundário é feito através de sistemas de lodo ativado com tempo de aeração estendido, na qual consiste na passagem do esgoto pelo tanque de aeração para a extração da matéria orgânica residual presente e depois entra no decantador para clarificação. O excedente do lodo é conduzido para os adensadores, flotadores e, em seguida, são armazenados em sacos para desidratação (LIMA,2020).

6.1.4. Processos de Tratamento de Esgoto ETE Aurenny

A ETE Aurenny tinha como concepção inicial de tratamento de esgoto um sistema formado por lagoas de estabilização em série, na qual, o processo consistia primeiro, pelo tratamento preliminar manual (grade de barras e caixa de areia tipo canal), depois lagoa anaeróbia, seguida de lagoa facultativa secundária e lagoa de maturação, sistema esse que atendia uma vazão em torno de 49,5 l/s. e não apresentava as reclamações relacionadas a odor como na atualidade. O sistema foi ampliado e a antiga ETE agora recebe os efluentes das ETE's Santa Fé e Taquarí e passou a ser denominada ETE União Sul (ALVES,2016).

Segundo o RCA – Relatório de Controle Ambiental – Ampliação ETE Aurenny Palmas – TO, AMBIENGER Engenharia Ambiental, processo 6944/2007 têm – se que:

Na época a vazão média da Estação era de 49,5 l/s e com a ampliação haverá um aumento da vazão em 88,90 l/s que corresponde a vazão de atendimento da ETE Santa Fé e Taquarí e também das ampliações de rede prevista para os setores, a nova vazão média passa para 130 l/s.

A ETE Aurenny ou ETE União Sul com vazão média de 130 l/s é composta pelo processo de Tratamento:

- Tratamento preliminar manual (antigo)
- Lagoa Anaeróbia - antiga
- Lagoa facultativa recebe aeradores
- Lagoa aerada de mistura completa
- Lagoa de maturação -> Lagoa de sedimentação
- Instalação de mais um flotador de ar dissolvido

A ETE Aurenny foi licenciada pelo processo N° 6944/2007 junto a FMA (Fundação de Meio Ambiente) de Palmas e a Licença Municipal de Operação (LMO) é a N° 48/2007 e as licenças de Instalação da obra são vinculadas ao mesmo processo.

6.1.5. Gases oriundos do processo

TSUTIYA E ALEM SOBRINHO (2000) destacaram que a origem desses odores desagradáveis está relacionada à degradação da matéria orgânica em condições anóxicas, ou seja, sem a presença de oxigênio contendo a incorporação de enxofre e nitrogênio, como também a partir da redução de sulfato e sulfeto durante os processos anaeróbios. De acordo com a exposição, o gás ubíquo no sistema com maior veemência é o sulfeto de hidrogênio (H_2S), que está relacionado à produção de mau cheiro, corrosão e toxicidade, e a amônia, gás oriundo de processos do ciclo do nitrogênio e apresenta um odor característico muito forte.

O processo de emanção de compostos orgânicos voláteis nas ETE's pode ocorrer de duas formas principais: difusão ou convecção e, em última instância, esses dois mecanismos podem ocorrer simultaneamente. Quando o processo se dá por difusão, a concentração de odores na fase líquida superficial é proporcionalmente maior que a concentração na atmosfera, atingindo o nível de volatilização e difusão dos compostos orgânicos, até que se atinja um estado de equilíbrio entre o meio gasoso e o líquido. Quando ocorre por convecção, o fluxo de ar remove os compostos voláteis da superfície e os libera na atmosfera (MORAES, 2004).

Estudos apontam que as etapas do tratamento de esgoto que mais apresentam emanção de odor em uma escala perceptível ao olfato humano são

nas estações dos Reatores UASB, Lagoas de estabilização e no tratamento preliminar (LIMA,2020), nesses locais são averiguados valores maiores que o valor máximo considerado aceitável para inalação humana, que é 8 ppm ao dia (BRASIL, 2015).

6.2. Compostos Odoríferos e seus métodos de ensaio

Sulfetos e Amônia são produtos característicos liberados durante processos que ocorrem em um ambiente anaeróbio. Eles se desenvolvem na camada inferior do reator e podem se difundir para a camada superior. Esses elementos também se refletem na degradação da matéria orgânica em ambientes com altas cargas de materiais e em lagoas de estabilização, principalmente em áreas ou dias com climas amenos. Os elementos supracitados são produtos tóxicos e podem causar odores desagradáveis (ARTHUR, 1983).

6.2.1. Sulfeto de Hidrogênio

A decomposição anaeróbia de matéria orgânica, permeado de água e redução de tiosulfato, sulfito, enxofre livre e outros compostos inorgânicos presentes no efluente podem gerar sulfeto de hidrogênio na ETE. No entanto, a principal fonte é a redução bacteriana de íons sulfato (CHERNICHARO et al., 2010).

Em um ambiente anaeróbio, a redução de íons sulfato por bactérias é muito comum, pois quando não há oxigênio ou nitrato livre no efluente, esse composto é a fonte de oxigênio, sendo esses compostos também a razão da oxidação bioquímica das bactérias anaeróbias (MOTERRAN et al., 2013). Na atual conjuntura, os íons sulfato são reduzidos a íons sulfeto e ficam em equilíbrio com os íons hidrogênio para dar origem ao sulfeto de hidrogênio, atendendo assim à premissa da constante de ionização primária (CHERNICHARO, 2016).

Quando em meio líquido, a presença de sulfeto de hidrogênio pode existir em dois estados principais, a saber: sulfeto total ($H_2S + HS^- + S_2^{2-} +$ sulfato metálico suspenso) e sulfeto dissolvido ($H_2S + HS^- + S_2^{2-}$). (TSUTIYA e SOBRINHO, 2000). A parcela de sulfeto de hidrogênio produzido também pode depender de outros fatores, como carga orgânica, formação do substrato e o processo competitivo entre bactérias redutoras de enxofre e metanógenos. (SAWYER et al., 1994).

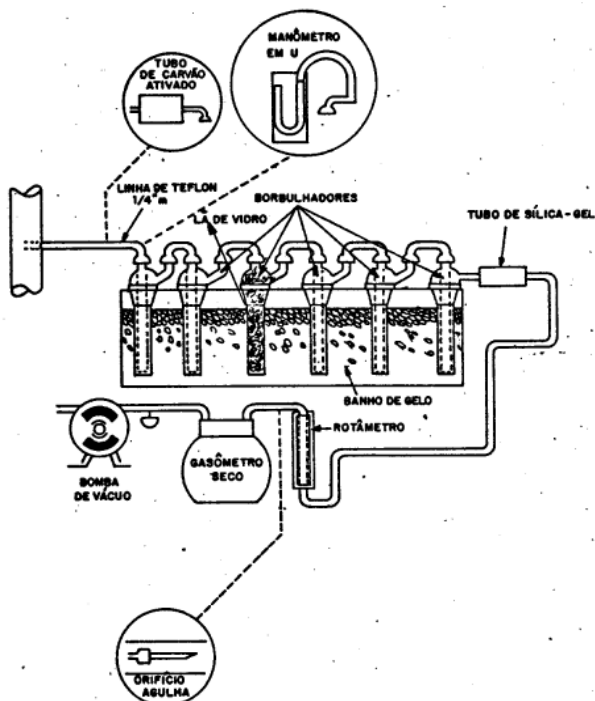
Na ETE, o estudo e o controle dos sulfatos são muito importantes, pois são causadores diretamente de dois problemas comuns nas estações: emissão de odores e corrosão de dutos (STUETZ et al., 1999).

6.2.1.1. Ensaios para a Determinação do Sulfeto de Hidrogênio

A Lei de São Paulo nº 997 de 1976 determina que a emissão máxima permitida de sulfeto de hidrogênio gasoso é na faixa de 0,00047 ppm. A lei também atribui à CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) a responsabilidade de organizar a supervisão e avaliação dos parâmetros de medição. Em dezembro de 1990, a norma técnica L9.233 da CETESB estabeleceu um dos métodos de ensaio para determinação de sulfeto de hidrogênio.

De acordo com a norma técnica L9.233 de 1990, o princípio deste método inclui a coleta de sulfeto de hidrogênio (H_2S) da fonte através de uma série de borbulhadores e posteriormente absorvido em uma solução de sulfato de cádmio ($CdSO_4$) para formar o sulfeto de cádmio (CdS), que mais adiante é medido de forma iodometricamente, partindo do pressuposto, o dispositivo deste método é mostrado na Figura 11. O limite de detecção desse método é de aproximadamente 9 mg/ Nm^3 (6 ppm) e o máximo é da casa de 800 mg/ Nm^3 (520 ppm).

Figura 9 – Equipamentos para Amostragem H_2S



Fonte: (CETESB,1990)

Além do sistema mais complexo de borbulhadores, outros dispositivos mais simples e práticos são encontrados no mercado e com isso, temos alternativas para a realização da medição de odores, em especial do sulfeto de hidrogênio, são eles: os medidores de gás portáteis, também chamados Odorímetros, que são muito adequados para a medição in loco para determinar os odores na área ao redor das ETE's (NUVOLARI, 2003). Eles também podem ser usados como equipamentos de segurança em áreas onde as concentrações de H_2S podem ser consideradas perigosas. Existem vários modelos com diferentes precisões no mercado, e os modelos mais baratos tendem a ter uma precisão mais baixa e são adequados apenas para altas concentrações de sulfeto de hidrogênio. A Figura 12 mostra o medidor de vazão de gás sulfídrico da BW Technologies, que tem uma precisão de 1ppm e um intervalo de aferição de medição de 0-100ppm. A Figura 13 mostra o medidor de gás sulfídrico da Jerome 631-X com uma precisão bem considerável de 0,001 ppm e um intervalo de aferição de medição de 0-50 ppm.

Figura 10 – Medidor de Gás Sulfídrico Gasalert Microclip XL



Fonte: (SANTO,2019)

Figura 11 – Medidor de Gás Sulfídrico Jerome 631-X



Fonte: (SANTO,2019)

6.2.2. Amônia

Os compostos geradores de odor incluem moléculas orgânicas ou inorgânicas. Os dois que mais emanam odores inorgânicos são o sulfeto de hidrogênio e a amônia. Os odores orgânicos são em geral o resultado de atividades biológicas que decompõem a massa orgânica e dão origem a uma variedade de gases malcheirosos, incluindo íons, escalotes, mercaptanas e aminas (WEF,1999).

Os compostos contendo nitrogênio fazem parte de um seleto grupo de moléculas olfativas importantes que produzem odores desagradáveis, emanando-os para a atmosfera. Eles são essencialmente a amônia (NH_3), as aminas clássicas e o indol e o escatole, que surge da degradação da urina, proteínas e aminoácidos. A liberação de compostos malcheirosos de um líquido para a atmosfera depende fundamentalmente de três condições: do acúmulo desses compostos no meio líquido, da região de superfície do líquido exposta à atmosfera e do grau de turbulência no fluxo desse líquido. A liberação também depende do pH do meio, onde a amônia e as aminas são favorecidas para propagação em ambiente com pH alcalino (LUDIVICE et al., 1997).

A intensidade do odor da amônia muitas das vezes pode mascarar outros odores, como compostos de enxofre reduzidos. No entanto, devido ao nível de detecção de amônia, é mais fácil detectá-la no ar do que compostos de enxofre (EPA, 2000a). Segundo LE CLOIREC (1991), o limite de percepção de NH_3 alcança

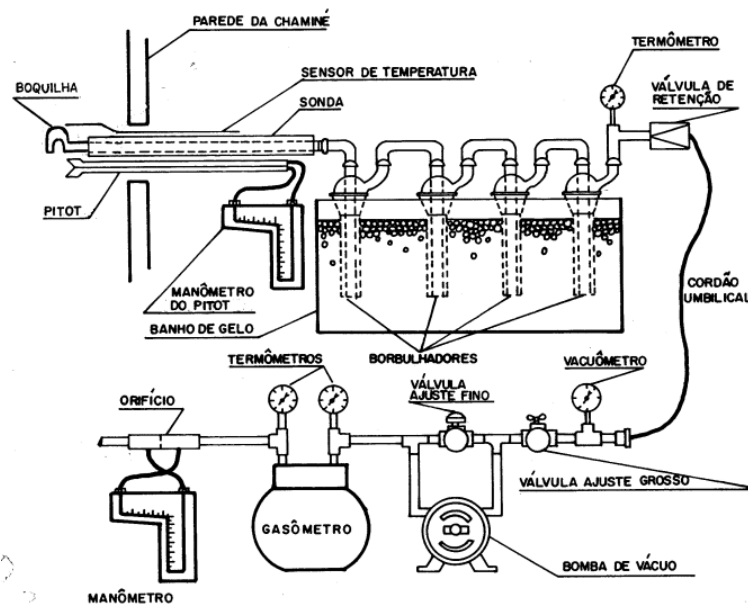
a média variável de concentração da faixa de 33,0 mg/m³ e o limite de toxicidade de cerca de 18,0 mg/m³, contudo, em relação à transformação gasosa, apenas a amônia livre (NH₃) pode volatilizar, enquanto a amônia ionizada não pode ser removida por volatilização.

6.2.2.1. Ensaios para a Determinação da Amônia

A Lei de São Paulo nº 997 de 1976 determina que a emissão máxima permitida de amônia gasosa é na faixa de 46,8 ppm. A lei também atribui à CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) a responsabilidade de organizar a supervisão e avaliação dos parâmetros de medição. Em setembro de 1993, a norma técnica L9.230 da CETESB estabeleceu um dos métodos de ensaio para determinação de amônia gasosa.

De acordo com a norma técnica L9.230 de 1993, o princípio deste método se dá da seguinte forma: a amônia e seus compostos são coletados ponto a ponto a uma velocidade constante e sua massa é aferida pelo método de destilação Kjeldahl e pelo processo de titulação. Ao mesmo tempo, determina-se o volume do gás amostrado. A concentração total de amônia é obtida por meio da relação entre os dois meios, onde tudo ocorre de forma contínua em um sistema de escoamento de gás por dutos e por chaminés de fontes estacionárias, conforme retrata a Figura 14. O limite inferior de detecção deste método é de cerca de 0,5 mg/Nm³ de amônia e seus compostos com um volume mínimo de cerca 1,6 Nm³ de gás.

Figura 12 – Equipamentos para Amostragem NH_3



Fonte: (CETESB,1993)

O equipamento presente no mercado comprovado como eficaz na análise química de odores é o espectrômetro de massa quadrupolo. As combinações que podem ser reconhecidas pelo modelo incluem amônia, aminoácidos e compostos orgânicos voláteis (NUVOLARI, 2003). Usando um espectrômetro de massa quadrupolo, a maioria das substâncias no ar e suas respectivas concentrações podem ser identificadas com alta precisão a um nível molecular. No entanto, por ser um equipamento de grande escala e não ser utilizado para medição *in loco*, a amostragem e posterior análise são realizadas no laboratório. Desse modo, o medidor portátil de gás antes mencionado é usado para as medições no local amostral. A Figura 15 mostra um exemplo de espectrômetro de massa quadrupolo.

Figura 13 – Espectrômetro de Massa Quadruplo



Fonte: (SANTO,2019)

6.2.3. Influência planimétrica e dos ventos na propagação do odor

As dispersões na proximidade da superfície do solo se dão conforme a quantidade de gás presente e também está relacionada à topografia local. A direção e a condução dos gases correspondem à velocidade com que o vento transcorre, sendo este o critério básico no processo de avaliação de impacto ambiental e auxilia na aplicação de modelos matemáticos para estudos de análise de dispersão, portanto, a percepção do vento em um determinado local é altamente dependente da topografia local (LORA, 2002).

TSUTIYA E ALEM SOBRINHO (2000) explicaram que os episódios corriqueiros de mau odor no sistema de esgoto sanitário ocorrem principalmente em cidades planas com fluxo lento de escoamento e grande número de elevatórias, por isso tal situação deixa favorável o meio para a geração de H_2S nos poços de sucção das elevatórias, na qual estes geralmente estão localizados no perímetro urbano. Além do desconforto estético, possibilita que o gás metano (CH_4) presente possa se acumular na atmosfera e originar ainda possíveis explosões.

O efeito da velocidade do vento na transmissão de odores refere-se à diluição dos poluentes atmosféricos e à turbulência no meio causada por essa velocidade, que leva à difusão do gás na atmosfera. Turbulências de grande proporção contribuem para uma excelente dispersão dos gases (STERN et al., 1994).

De maneira geral, segundo BELLI FILHO E LISBOA (1998), a difusão dos gases poluentes na atmosfera é afetada pela temperatura e velocidade do vento no momento referencial, pois existem circulações de ar de diferentes proporções e com distintas escalas de tempo, capazes de interagir uns com os outros.

6.2.4. Influência climática na propagação do odor

Estudos têm mostrado que a concentração de H_2S na atmosfera à tarde é menor do que pela manhã, esse fato está correlacionado ao aumento da temperatura climática na região, vindo consequência do clima tropical em grande parte do Brasil, tal situação se dá, pelo fato da temperatura influenciar na velocidade da reação entre os compostos gasosos, o que conduz à formação de sulfetos e, conseqüentemente, o gás sulfídrico (CHERNICHARO et al., 2010).

Segundo VON SPERLING (2002), a temperatura também está diretamente relacionada à eficiência das lagoas de estabilização, pois em áreas com alta amplitude térmica, ocorrerá o episódio da estratificação térmica, com isso, o gás sulfídrico remanescente no fundo das lagoas pode vir a emergir chegando até a superfície por meio de uma mistura convectiva. Portanto, através da atividade de fotossíntese das algas, o nível de luz solar torna-se o principal fator para a produção de oxigênio em lagoas facultativas e maduras, o que faz com que essas lagoas de baixo teor de oxigênio se tornem principalmente anaeróbias, o que leva a uma maior produção de sulfeto de hidrogênio, ocasionando uma propagação de maus odores.

6.2.5. Influência da carga orgânica na propagação do odor

A presença de odor fétido geralmente está relacionada à sobrecarga de matéria orgânica, baixa luminosidade e temperaturas amenas, presença de substâncias tóxicas no efluente, formação de curtos-circuitos e zonas mortas em lagos e presença de objetos flutuantes na superfície do líquido. (VON SPERLING,

2002). No reator, o aumento significativo na produção de odores está relacionado à grande mudança e desequilíbrio final entre a carga orgânica e a intensidade da atividade microbiana, visto que a degradação efetiva desses materiais começa efetivamente nos reatores.

As lagoas anaeróbias são caracterizadas por suportarem altas cargas orgânicas (100 a 400 g DBO₅/m³.dia) (ARTHUR, 1983) e, como os reatores anaeróbios, não produzem oxigênio por fotossíntese (OSWALD, 1968); então toda lagoa anaeróbia trabalha na ausência de oxigênio e, se não for bem administrada, produzirá mau cheiro. No entanto, isso pode ser amenizado com a adoção de uma carga orgânica adequada desde a fase de projeto, pois quando se utiliza carga orgânica superior a qual foi projetada, a lagoa não apresenta o desempenho esperado.

O uso de carga orgânica de superfície (em lagoas facultativas e de maturação) e volume adequado (em tanques anaeróbios) tende a diminuir a probabilidade de maus odores, pois a carga orgânica no tanque de estabilização é sempre acompanhada por uma queda do pH e diminuição do nível de oxigênio dissolvido no efluente e conseqüentemente produção de H₂S (TRUPPEL, 2002).

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As atribuições a esse tópico dos resultados, é de complementar a metodologia empregada buscando atingir os objetivos propostos, na qual, por meio de revisões de literatura, foi levantado possíveis soluções para a problemática e o estudo/analise das legislações em vigor existentes referentes ao controle de odor, buscando correlacionar com a situação atual das ETE's de Palmas – TO.

7.1. Soluções sugeridas/implantadas para combater o odor nas ETE's

Nesta seção será feito uma revisão geral das medidas de mitigação que foram implementadas/recomendadas para o controle de odores em ETE's pelo Brasil, e sua aplicação em pesquisas científicas para prevenir emissões de gases odoríferos nas estações de tratamento de esgoto.

A gestão interna da empresa responsável pela ETE é fundamental para prevenir a geração de odores. Em muitos casos, melhores práticas de operação e

manutenção são suficientes para reduzir ou eliminar as emissões de odores, como por exemplo, limpeza regular de materiais gradeados, remoção do lodo gerado, higienização das paredes dos tanques, limpeza de componentes do processo e remoção de gordura acumulada, sólidos e resíduos nas instalações. Contudo, se por acaso essas ações não forem praticadas pela empresa ou não se apresentarem economicamente viáveis, os gases odoríferos originados do processo podem ser confinados em um espaço e por meio das tecnologias de controle podem ser removidos e tratados.

As principais técnicas empregadas para o tratamento desses gases odoríferos podem ser classificadas em físicos, químicos e biológicos. Esses mecanismos estão apresentados de forma sucinta na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8 – Métodos para controle de gases odorantes em ETE's

Métodos	Descrição e/ou aplicação
Físico	
Retenção	Instalação de coberturas, capuzes coletores, e emprego de equipamentos para conter e digerir os gases odoríferos para o sistema de tratamento.
Diluição com ar livre de odor	Os gases podem ser misturados com ar fresco para reduzir os valores das unidades de odor.
Combustão	Odores gasosos podem ser eliminados por combustão em temperaturas variando de 650 a 815°C. Estes gases podem ser queimados junto com sólidos de estações de tratamento ou separadamente em um incinerador.
Adsorção em carvão ativado	Gases odoríferos são passados através de leitos de carvão ativado para remover odores. A regeneração do carvão pode ser realizada para reduzir custos.
Adsorção em areia, solo.	Gases maus cheirosos podem ser passados através de areia, solo ou leito composto.
Injeção de oxigênio	A injeção de oxigênio (ar ou oxigênio puro) a montante de onde se deseja controlar o odor, tem-se mostrado efetivo para evitar condições anaeróbias.
Agentes mascarantes	Odores de perfume podem ser pulverizados na forma de névoas finas, próximo às unidades de processo para se sobrepor ou mascararem odores desagradáveis. Em alguns casos, o odor do agente mascarante piora o odor original. A efetividade dos agentes mascarantes é limitada.
Químico	
Lavadores de gases	Os gases odoríferos podem ser passados através de torres de lavagem especialmente projetadas para remover odores. As soluções purificadoras dependem do tipo de composto odorante a ser removido.

Oxidação química na fase líquida	Adição de produtos químicos no esgoto, como o cloro, ozônio, água oxigenada, peróxido de hidrogênio, permanganato de potássio e nitrato de sódio estão entre os oxidantes usados, para a oxidação de compostos odorantes.
Precipitação química	Refere-se à precipitação de sulfetos com sais metálicos, especialmente ferro.
Biológico	
Filtros biológicos e lodos ativados	Os gases podem ser passados através de filtros biológicos ou usados como ar de processo para tanques de aeração de lodo ativado, para remover compostos odoríferos.
Torre de remoção biológica (biofiltros)	Essas torres são preenchidas com recheios de vários tipos (terra, lodo de esgoto, madeira, turfa e outros) que servem de suporte para o crescimento dos microrganismos. Esses microrganismos consomem os produtos químicos odorantes provenientes dos exaustores das ETEs, oxidando-os e, eliminando o odor.

Fonte: (U.S.EPA, 1985).

7.1.1. Soluções imediatas

As alternativas rápidas e de fácil incorporação nas instalações das ETE's que auxiliam no combate ao odor são consideradas de caráter preliminar, as mesmas diminuem a proporção da propagação do mau cheiro, porém necessitam de etapas posteriores com o intuito de tratar devidamente os compostos odorantes.

De acordo com a empresa responsável pelo tratamento de efluentes de Curitiba-PR, a ETE local utiliza precipitação química e cloração para eliminar os maus cheiros em estações de tratamento de efluentes anaeróbios. Entretanto, segundo GRASEL (2014), esses procedimentos apesar de terem potencial de reduzir a produção de odores, eles se mostraram insuficientes para manter a concentração de H_2S no meio ETE dentro de níveis aceitáveis, expondo, assim, as pessoas que se encontram nas redondezas da estação.

Segundo U.S.EPA (1985), existem altas concentrações de sulfeto no esgoto, que podem ser tratados com a injeção de ar ou oxigênio no sistema de coleta; ou a incorporação de produtos químicos, como peróxido de hidrogênio ou sais metálicos, que por sua vez podem reduzir ou até eliminar os odores gerados nos processos. Sendo essas medidas recomendadas para implantação na ETE Paranoá em Brasília. Já SANTO (2019), menciona que a utilização da barreira de vegetação natural, como eucaliptos, também é uma medida de controle amplamente utilizada para reduzir odores e controlar a velocidade do vento ao longo da periferia da ETE.

7.1.2. Soluções a médio prazo

As alternativas de médio prazo são aquelas que requerem o uso de acessórios suplementares. Na ETE de Santa Catarina, por exemplo, foi empregado um sistema de recirculação do esgoto entre as lagoas por meios de bombas elétricas, com o intuito de reduzir a carga orgânica e consequentemente a liberação de H_2S (TRUPPEL, 2002) e também um sistema de filtração biológica, no qual gases carregados de poluentes passam por meio de suporte úmido, geralmente de origem natural, onde estão fixados os microrganismos que vão combater o mau odor (CHERNICHARO, 2001).

Na ETE Paranoá, também é proposto um lavador de gases, que envolve o contato do gás com uma solução, que por sua vez apresenta orientação perpendicular à corrente para permitir que o gás seja transferido para a fase líquida pelos seguintes mecanismos: condensação de vapor; remoção de odor; remoção de partículas de odor; absorver o odor na solução de purificação; o odor reage com a solução oxidante e o odor é emulsificado com reagentes químicos.

7.1.3. Soluções a longo prazo

Alternativas de longo prazo são aquelas que requerem modificação/ampliação dos projetos de instalação da ETE. Os tipos de tecnologias de controle de gases de odorização comumente usados para reduzir as emissões de gases em esgoto incluem: bolhas que se difundem na massa de esgoto (stripping), torres de adsorção em carvão (fase líquida ou vapor) e taxas de remoção aprimoradas (U.S.EPA, 1997). As tecnologias de controle, como a coluna de adsorção e a torre stripping, não ceifam os compostos orgânicos voláteis, apenas os capturam. Esses métodos são usados para reduzir o odor emitido para o meio ambiente. Em casos, onde os odores são gerados em um único processo de tratamento de efluentes, como clarificadores primários e espessadores de lodo, a cobertura da unidade é viável para minimizar e assegurar a captura dos gases odoríferos, no entanto, esses gases devem ser coletados e processados.

A coluna de adsorção trata-se de um processo que consiste na passagem de ar contaminado pelo meio de adsorção, na qual é encarregado da oxidação ou desativação de substâncias odoríferas. O carvão ativado é o principal meio de

adsorção no mercado devido à sua elevada eficiência e custo relativamente baixo (LUDUVICE et al., 1997). Em relação a torre de stripping, é um processo que ocorre a remoção do nitrogênio amoniacal por uma espécie de descascamento do mesmo, por meio da injeção de gás, na qual a remoção envolve o aumento do pH do meio para um valor próximo ou superior a 11, o que facilita a conversão de íons de amônia em amônia livre. A alcalinização do meio é completada com antecedência de vapor, geralmente pela adição de hidróxido de cálcio (Ca (OH)_2), hidróxido de sódio (NaOH), etc.). O Ca (OH)_2 é frequentemente utilizado para ajuste de pH devido a sua aquisição ser baixa.

7.1.4. Situação em que se encontra as ETE's de Palmas – TO em relação ao controle do odor local produzido

Para amenizar os problemas dos odores, a ETE União Sul e a ETE Norte montaram barreiras vegetais ao entorno das estações com o intuito de reduzir o odor e controlar a velocidade do vento na região, na qual o vento é um dos principais meios de propagação e dissipação do odor. Mas, mesmo assim as reclamações continuaram.

7.1.4.1. ETE União Sul

A estação adota também medidas de retirada dos materiais superficiais da lagoa anaeróbia, que consiste na primeira etapa do tratamento biológico, na qual mesmo a medida não causando impacto no esgoto tratado, pode contribuir com a formação de H_2S . Essa operação é realizada sempre que a equipe de operação in loco detecta acúmulo de matéria suspensa no lago. A estação também incorporou na sua lagoa facultativa um sistema de aeradores para aumentar a eficiência do processo (FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE, 2019).

7.1.4.2. ETE Norte

Na ETE Norte foi instalado também vários sistemas de filtração biológica (biofiltros) para reduzir o gás odorífero emitido para a atmosfera, esses sistemas são combinados com diversas funções e por meio deles, o gás é conduzido ao leito de

biomassa para processamento através de exaustores que foram instalados ao longo das unidades da ETE (LIMA, 2020).

7.2. Legislação

7.2.1. Legislação Federal – Linha do Tempo

A Lei N°6.938, de 31 de agosto de 1981 – Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Essa lei foi a primeira instaurada com o intuito de atribuir devidas competências a certos órgãos ambientais com a narrativa de regulamentar a fiscalização e o licenciamento ambiental, principalmente.

Segundo o Art. 8° desta lei, compete ao CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) estabelecer normas e critérios com o auxílio do IBAMA para o licenciamento de empresas que exercem serviços de caráter poluidor, além da fiscalização e acompanhamento das mesmas. A Lei frisa também no Art. 10° que as empresas só poderão construir, instalar, ampliar e funcionar apenas mediante a comprovação do licenciamento ambiental junto ao órgão competente.

O CONAMA foi criado a partir da lei anteriormente citada e teve suas atividades iniciadas mediante ao decreto N°88.351 de 1983 tendo sua primeira resolução de caráter ambiental sancionada apenas em 1986 com a resolução de número 001 que por sua vez estabelecia os critérios para o desenvolvimento do Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Seguindo a competência a lhe atribuída pela Lei N°6.938, de 31 de agosto de 1981, o CONAMA instaurou em 22 de dezembro de 1997 a resolução de N°237 que regulamenta os aspectos necessários para o licenciamento ambiental até então estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente.

O Art. 8° da referida resolução supracitada determina que é de incumbência do Poder Público de expedir as três licenças ambientais necessárias a empresa, sendo elas: Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e a Licença de Operação (LO). Segundo o Art. 3° da mesma resolução, as citadas licenças são obtidas a partir de um estudo prévio de impacto ambiental e por meio do relatório de impacto sobre o meio ambiente (EIA/RIMA) por parte da empresa, sendo obrigatório comprovar que a atividade exercida pela empresa está em conformidade com a

legislação aplicável, em relação ao uso e ocupação do solo e, quando for o caso, a autorização para supressão de vegetação e a outorga para o uso da água, emitidas pelos órgãos competentes. Como analisado, a resolução é omissa aos padrões de qualidade do ar, no quesito referente a emissão de odor gerado pelas ETE's.

Anos depois, com a resolução N°357 do CONAMA sancionada em 17 de março de 2005 passou a estabelecer um aprimoramento das questões ambientais de sua alçada, como foi com o lançamento dos efluentes, estabelecendo as condições e os padrões para tal intervenção. Segundo o Art. 24° do capítulo IV da resolução, salienta que os efluentes advindos de uma fonte poluidora só poderão ser lançados em um meio hídrico após tratamento e em conformidade com as condições e padrões exigidos pela norma. O Art. 34° da mesma norma estabelece as condições e os padrões para o lançamento do efluente da fonte poluidora nos corpos hídricos, sendo tais condições as seguintes:

“ I - PH entre 5 a 9; II - temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C na zona de mistura; III - materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes; IV - regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente; V - óleos e graxas: 1 - óleos minerais: até 20mg/L; 2- óleos vegetais e gorduras animais: até 50mg/L; e VI - ausência de materiais flutuantes. ”

A mesma norma também estabelece o valor máximo de compostos orgânicos e inorgânicos que podem estar presentes juntamente ao lançamento do efluentes, dentro dos citados, os principais causadores de odor são os seguintes: Nitrogênio amoniacal total (20 mg/L) e o Sulfeto (1,0 mg/L). A norma por sua vez foi considerada incompleta e sofreu 4 retificações, sendo a última em 13 de maio de 2011 dando origem a resolução N°430, que por sua vez, serviu de complemento à anterior abordando além dos padrões e condições, como também os parâmetros e diretrizes para o lançamento de efluentes em corpos de água.

O Art. 21 dessa nova resolução trata especificamente do lançamento de efluentes oriundos de Sistemas de Tratamento de Esgoto sanitário, atribuindo ao mesmo novas condições para o despejo em corpos hídricos, nas quais essas condições seguem os seguintes padrões específicos:

“ I - Condições de lançamento de efluentes: a) pH entre 5 e 9; b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura; c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja

praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes; d) Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO 5 dias, 20°C: máximo de 120 mg/L, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor. e) substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) até 100 mg/L; e f) ausência de materiais flutuantes. ”

O Art. 21 dessa norma complementa o artigo anterior, exigindo que o efluente seja lançado após ser tratado, ter passado pela desarenação, não apresentar sólidos grosseiros e materiais flutuantes visíveis, além de apresentar no máximo um percentual de 20% de matérias flutuantes totais.

A Legislação Nacional tem como referência na questão do licenciamento ambiental e do tratamento/manejo de efluentes as normas supracitadas, agora, com relação aos Padrões de Qualidade do ar temos duas a seguir; a Resolução CONAMA N°003 de 28 de junho de 1990 que dispõe sobre os padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. O Art. 01 dessa resolução prevê como poluente do ar todo material que torne o mesmo impróprio, ofensivo à saúde, danoso e prejudicial a população e a fauna e flora, porém no decorrer do corpo do texto são atribuídos restrições e parâmetros apenas para substância presentes na fumaça oriundas de queimadas e afins, não sendo abordado em nenhum momento restrição a substâncias odoríferas oriundas de sistemas de tratamento de esgoto, e segundo o Art. 05 da resolução, o monitoramento da qualidade do ar é papel do estado e não do governo e, mais recente a resolução do CONAMA que aborda os padrões da qualidade do ar é referente a Resolução de N°491 de 19 de novembro de 2018 na qual apresenta as mesmas definições da normativa de antes, porém, com mais parâmetros e diretrizes de atuação, entretanto, abordando apenas os mesmos compostos de antes sem citar em nenhum momento as duas principais substâncias odoríferas exauridas pelas ETE's que é Sulfeto de Hidrogênio (H_2S) e a Amônia (NH_3). No âmbito federal, temos resoluções que limitam os gases odoríferos anteriormente citados, porém, apenas em ambientes confinados, que é o caso da NR 33 que limita por exemplo o gás sulfídrico (H_2S) a 8 ppm para 8 horas máximas de contato, 12 ppm limitado a 15 minutos e acima de 700 ppm atribui a morte instantânea.

7.2.2. Legislações Estaduais

7.2.2.1. São Paulo

O Estado de São Paulo foi um dos pioneiros a definir restrições à emissão de odores na atmosfera, antecipando-se ao Governo Federal e ao próprio CONAMA. A Lei N°997 de 31 de maio de 1976 dispõe sobre a Prevenção e o Controle do Meio Ambiente. O Art. 18 da lei segue na sua totalidade a resolução do Conama N°357 de 2005 citada anteriormente no que diz respeito às condições que devem ser obedecidas para que o efluente de uma fonte poluidora possa ser lançado em um corpo hídrico. Em relação ao lançamento de efluentes tratados oriundos de sistema sanitários, a lei estadual é menos rígida que a resolução do CONAMA N°430 de 2011 citada anteriormente, conforme sinaliza o Art. 19 da lei, o texto evidencia o aumento no intervalo aceitável de PH (entre 6 e 10), aumenta a concentração de materiais sedimentáveis (20ml/L) e a concentração máxima de graxas visíveis passa a ser de 150 mg/L, as demais referências permanecem inalteradas.

A Lei se torna mais ampla e abrangente quando se parte para os padrões de qualidade do ar, a princípio a lei está em conformidade com a Resolução do CONAMA N°491 de 2011 no que diz respeito aos compostos oriundos de queimadas. A lei se torna mais ampla, pois diferente do CONAMA, a mesma apresenta restrições para a emissão de compostos odoríferos. O Art. 33 da lei estabelece a princípio a proibição de emissão de substâncias odoríferas por parte da empresa poluidora em quantidades que possam ser sentidas fora das mediações das instalações da propriedade. Além da proibição, o artigo ainda limita a concentração no ar das principais substâncias odoríferas, como: Amônia (46,8 ppm), sulfeto de hidrogênio Gasoso (0,00047 ppm). A lei estabelece que os ensaios, as normas técnicas e a fiscalização das atribuições supracitadas são de responsabilidade da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), a mesma atribui o método de aferição do Sulfeto de Hidrogênio pela Norma Técnica L9.233 de 1990 e a determinação da Amônia pela Norma L9.230 de 1993.

7.2.2.2. Santa Catarina

O Estado de Santa Catarina seguiu os mesmos passos do estado de São Paulo e desenvolveu sua própria lei de combate ao odor e as substâncias prejudiciais ao meio ambiente. A Lei N°5.793 de 15 de outubro de 1980 dispõe sobre a proteção e a melhoria da qualidade ambiental. O Art. 19 da lei vai de encontro com todas as restrições efetivadas nas resoluções do CONAMA N°357 de 2005 e a N°430 de 2011 no que diz respeito aos padrões de qualidade estabelecidos para a emissão de efluentes em corpos hídricos. Em relação aos padrões de qualidade do ar e emissões de compostos odoríferos por parte da fonte poluidora, a lei segue a mesma narrativa da lei de São Paulo desde a proibição da percepção de odor fora das intermediações das instalações da fonte até a quantidade máxima de emissão permitida (ppm) dos principais compostos odoríferos, o relatado é evidenciado no Art. 31 da Lei.

7.2.2.3. Tocantins

O Estado do Tocantins não detém uma legislação estadual que regulamenta as diretrizes e condições para a emissão de efluentes e para os padrões de qualidade do ar, diferente dos estados de São Paulo e de Santa Catarina. A capital do estado, Palmas, apresenta uma lei que dispõe sobre a política ambiental, equilíbrio ecológico, preservação e recuperação do meio ambiente, sendo a Lei N°1011 sancionada em 04 de junho de 2001. O Art. 30 desta lei deixa claro que em relação aos padrões e parâmetros de emissão e de qualidade ambiental são seguidos aqueles estabelecidos pelos Poderes Públicos Federal, ou seja, o CONAMA, podendo seguir também o CMA (Comando Militar da Amazônia) caso apresente padrões mais restritivos.

A Lei estadual que mais se aproxima de regulamentar a situação dos efluentes e dos padrões de qualidade do ar é a de N° 3804 sancionada recentemente pelo Governador Carlesse no dia 29 de julho de 2021 que dispõe sobre o Licenciamento Ambiental no âmbito do Estado do Tocantins que por sua vez é embasada na resolução do CONAMA N°237 de 1997 atribuindo a liberação da licença mediante ao estudo prévio de impacto ambiental e do relatório (EIA/RIMA) e divide os trâmites em três etapas, sendo elas: Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e a Licença

de Operação (LO). A Cidade de Palmas atribui o monitoramento desse licenciamento a Fundação Municipal de Meio Ambiente de Palmas, que por sua vez segue a legislação federal inclusive no quesito de mitigar os odores produzidos por fontes poluidoras.

8. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

8.1. Medidas mitigatórias necessárias para o controle de odor nas ETE's locais

Para amenizar o problema da produção de odor, algumas técnicas podem ser utilizadas, com o objetivo de reduzir a disseminação de sulfeto de hidrogênio (H_2S) e outros compostos nas ETE's Norte e União Sul, ambas têm tomado medidas para controlar a produção de odores, porém, as soluções adotadas não estão sendo suficientes para controlar os odores na área, isso se dá muito pelo sistema de tratamento empregado, possivelmente, também pelo aumento da vazão de tratamento de ambas e conseqüentemente o aumento de carga orgânica no sistema.

8.1.1. ETE União Sul

Na ETE União Sul, ocorreu somente a instalação de aeradores na lagoa facultativa para se melhorar a eficiência do sistema, entretanto, nenhuma ação foi tomada na lagoa anaeróbia e, à medida que a vazão de operacional aumenta, pode ocorrer sobrecarga no sistema, e como a lagoa anaeróbica já produz naturalmente um cheiro desagradável, caso venha a ficar sobrecarregada, a situação piorará (SANTO, 2019).

Em vista disso, nas lagoas anaeróbicas pode ser empregado alguns planos de ataque, segundo VON SPERLING (2002) pode ser adotado a seguinte intervenção:

“Recircular o efluente da lagoa facultativa ou de maturação para a entrada da lagoa anaeróbia (razão de recirculação de aproximadamente 1/6)”

A recirculação do efluente introduz nitrato na lagoa, reduzindo a produção de sulfeto de hidrogênio, pelo fato, de o nitrato ser mais facilmente absorvido e,

consequentemente, diminuindo a emissão de H_2S no meio ambiente. Desse modo, parte do efluente que entraria no tanque anaeróbio flui diretamente para o tanque facultativo de modo a reduzir uma possível sobrecarga no tanque anaeróbio, e consequentemente, diminuindo a produção de gás sulfídrico na etapa citada. No entanto, isso só é possível se a lagoa facultativa ou a de maturação puder suportar a carga orgânica adicional. Este sistema torna-se, na verdade, basicamente um sistema de lodo ativado, por isso a ETE deve também proporcionar um melhor destino e tratamento para esse lodo gerado, e não apenas acumulá-lo na estação (SANTO, 2019).

Além da alternativa citada anteriormente com o intuito de controlar a produção de odor na ETE, surge também como alternativa para esse controle a ampliação da estação analisada ou até mesmo a construção de uma nova unidade de tratamento, caso, mediante estudos o investimento seja viável.

8.1.2. ETE Norte

Na ETE Norte, o estágio de maior geração de odores é o reator UASB, onde o processo biológico anaeróbio usado para tratar o esgoto produzido reage bioquimicamente, de modo a realizar a conversão da matéria orgânica original, consumindo a maior parte do oxigênio (DBO) presente no esgoto, consequentemente, levando à formação de gases como metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) no processo. Por outro lado, em carência de oxigênio (anaeróbio), a contribuição de compostos de enxofre aumentará a formação de H_2S (sulfeto de hidrogênio), liberando para a atmosfera a propagação desse gás desagradável (GLORIA, 2009).

À vista disso, para minorar os odores nos Reatores UASB pode ser aplicado alguns métodos, como o emprego da Coluna de Adsorção (LUDUVIC et al., 1997):

“A adsorção consiste na passagem do ar contaminado por um meio adsorvente, responsável pela oxidação ou inativação das substâncias odoríferas.”

Outra etapa que deve receber um cuidado especial é a do pré-tratamento, principalmente no eixo de gradeamento, pois o acúmulo de matéria orgânica no local é grande e deve-se fazer a limpeza periodicamente e com auxílio de produtos para

diminuir a proliferação de vetores, sendo que esses produtos geralmente já ajudam na redução do sulfeto de hidrogênio. Desse modo, os produtos químicos que poderiam ser adicionados é o nitrato de sódio e a cal, pois aumenta o pH da lagoa, de modo, a reduzir o nitrato de sódio (NaNO_3) no gás nitrogênio (N_2) sequestrando os íons de hidrogênio por meio da ação de bactérias desnitrificantes. O processo também inibe a redução de íons sulfato em sulfeto de hidrogênio, que é mais fácil de se formar em um ambiente ácido (SANTO, 2019).

Outro produto também é bastante utilizado para reduzir o teor de sulfato, sendo ele o óxido de ferro (III), na qual, o mesmo transforma os íons de sulfato em enxofre elementar, que existe na forma sólida à temperatura ambiente e é considerado um gás inodoro (SZARBLEWSK, SCHNEIDER, & MACHADO, 2012).

8.2. Proposta de aprimoramento da legislação estadual de licenciamento ambiental do Estado do Tocantins

Uma das dificuldades encontradas em lidar com o odor emitido pelas ETE's é a falta de padrões suficientes para orientar as atividades da empresa emissora e o pessoal da gestão ambiental no entendimento das características do problema e do nível de controle necessário para resolvê-lo, visto que um aspecto relacionado à poluição ambiental é o incômodo olfativo causado por odores persistentes ou ocasionais.

Com base nas considerações anteriores, algumas premissas básicas podem ser traçadas para a elaboração de um plano de controle de odores na ETE, com o objetivo de incorporar o plano à legislação estadual de licenciamento ambiental vigente no Tocantins, em uma oportunidade futura; segue as medidas propostas para a elaboração do plano adaptado de (SILVA, 2007), que estão descritas a seguir:

- O plano precisa listar sistematicamente todas as fontes potenciais de odor na estação de tratamento de esgoto. Depois que esta lista de verificação estiver pronta, necessita-se avaliar os odores potenciais. Se o potencial de odor de uma determinada fonte for superior ao nível máximo especificado por norma, algumas estratégias de controle devem ser projetadas e implementadas em um curto período de tempo no ano, com o intuito de reduzir ou eliminar a emissão desses gases. A partir deste ponto, recomenda-se ajustar o nível máximo de

emissão de odor nas intermediações das ETE's, a sugestão é limitar a concentração no ar das principais substâncias odoríferas, embasando-se em leis vigentes de estados vizinhos, como é o caso das leis de São Paulo e Santa Catarina, previamente explanadas, na qual, limitam a Amônia e o Sulfeto de Hidrogênio a uma propagação de máxima de 46,8 ppm e 0,00047 ppm no ar, respectivamente.

- Essas medidas de controle podem ser por meio do tratamento físico, químico ou biológico dos gases, na qual essas práticas devem ser feitas pela empresa de saneamento ou pelo governo local, e em outras situações pode ser uma combinação entre as duas partes. Os planos de odores devem se tornar obrigatórios para o processo de licenciamento ambiental. Desta forma, o plano de gerenciamento de odores pode ajudar a aliviar algumas das controvérsias entre a empresa de saneamento e os vizinhos da ETE sobre a discussão de estratégias úteis e a direção a seguir para evitar ou controlar os problemas relacionados aos odores.

- Um indicador relevante da propagação do odor exalado pelas ETE's são as reclamações do público. Portanto, a introdução de um sistema de recebimento e registro de reclamações de odores (disponibilização de números de telefone ao público) seria uma opção muito viável para auxiliar na tomada de decisões, tanto corretivas quanto preventivas contra os odores.

8.3. Recomendações aos Gestores Públicos e Privados

A partir dos conceitos analisados com a aplicação da presente metodologia, visualizam-se as seguintes recomendações as empresas de saneamento e ao governo sobre os odores em ETE's:

(1). Estudar um plano de gerenciamento de odores para a instalação de uma ETE no perímetro urbano e apontar as tecnologias e estratégias de controle que podem ser implementadas para reduzir a emissão desses odores.

(2). Monitorar os gases odoríferos da ETE para definir padrões adequados que orientem as atividades e os gestores ambientais da empresa emissora, envolvendo as características do problema e o nível de controle necessário para a solução do incômodo.

(3). Monitorar os parâmetros de projeto, como tempo de residência e taxa de aplicação na superfície da estação de tratamento de esgoto, e analisar se é possível reduzir ou eliminar a emissão de odores.

8.4. Sugestões de trabalhos futuros

- Buscar definir se os limites para o sulfeto presente no ar sugeridos no estado de Santa Catarina são adequados às condições climáticas do estado do Tocantins.

- Aplicar as medidas mitigadoras sugeridas e acompanhar os resultados, se estão dentro do esperado na literatura, por exemplo.

- Quantificar experimentalmente as cargas de emissão de H_2S nas unidades de tratamento de esgoto com uso dos métodos citados de quantificação do sulfeto também no efluente líquido ao longo das unidades de tratamento.

- Implementar um programa de monitoramento diário dos gases provenientes dos processos operacionais da ETE Norte e da ETE União Sul.

- Acompanhamento dos dados de eficiência e as alterações do sistema, para verificação entre eficiência proposta é obtida com o novo sistema, acompanhando ao longo do ano e correlacionando com a geração de odor, através das reclamações, por exemplo.

- Trabalhos que verifiquem o custo de implantação e da operação das alternativas propostas para controle da produção de sulfeto de hidrogênio, verificando o custo benefício da opção por tratamento anaeróbio e o custo de energia dos sistemas aeróbios, observando também a geração e o tratamento do lodo das unidades de tratamento.

9. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001.

ADUAN, R. E. Os Grandes Ciclos Biogeoquímicos do Planeta. Embrapa. Planaltina, DF 2004.

AMBIENGER E. A. RCA – Relatório de Controle Ambiental – Ampliação ETE Aurenny Palmas – TO. Processo 6944/2007.

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.

ARTHUR, J. P. Notes on the design and operation of waste stabilization ponds in warm climates. Technical paper nº 07. Washington: World Bank, 1983.

AUGUET, O.; PIJUAN, M.; GUASCH-BALCELLS, H.; BORREGO, C.M.; GUTIERREZ, O. (2015) Implications of downstream nitrate dosage in anaerobic sewers to control sulfide and methane emissions. Water Research, v. 68, p. 522-532.

AUGUSTO, C. et al 2010. Alternativas para o controle de emissões odorantes em reatores anaeróbios tratando esgoto doméstico. Minas Gerais, 2010.

ALVES, T. D. C. V. ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO VISANDO CONDIÇÕES DE OUTORGA E ENQUADRAMENTO DE CORPOS HÍDRICOS: O CASO DAS ETE's AURENLY E PRATA, PALMAS – TO. Palmas, 2016.

AZEVEDO, A. D. P.; SIMÕES, C. J.; FERREIRA, R.; LAMEU, D.; ELIAS, W. F. Eliminação de H₂S (Sulfeto) dos esgotos de Pereira Barreto - SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20º, 1999, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 1999. 10p.

BRENNAN, B. (1993). "Odour nuisance". Water and Waste Treatment, 36, 30-33.

BELLI FILHO, P.; LISBOA, H. M. Avaliação de emissões odorantes. Rio de Janeiro, V. 3, n. 3, p.101-106, out/dez.1998.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 001, de 23 de janeiro de 1986. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 23 jan. 1986.

BUENO, P (2014). Tratamento Biológico de Efluentes Líquidos. Filtros Biológicos.

BELLI FILHO, P.; WOLFF, B. D.; CARVALHO, C. M.; RIBEIRO, L. G.; COSTA, R. H. R. Tratamento de odores em sistemas de esgotos sanitários. In: LEMOS C. A (coord). Pós ratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Belo Horizonte: [s.n.], 2001. 544 p. Projeto PROSAB 2.

BRASIL – Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 15 - Atividades e Operações Insalubres. Rio de Janeiro, 24 p., 2015.

BRASIL, Fundação do Meio Ambiente. Relatório de Controle de Odores entregue à Fundação do Meio Ambiente pela empresa responsável pela ETE Aurenny. Palmas Tocantins, 2019.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. Manual de Procedimentos para Auditoria no Setor Saneamento Básico. Novembro de 2002. Acesso em 05 de Maio de 2021. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/06manual_auditoria_saneamento.pdf.

BROSTEL, R. C.; SOUZA, M. A. A. Uma proposta para avaliação do grau de impacto ambiental provocado por estações de tratamento de esgotos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., Campo Grande. Anais Eletrônicos. Campo Grande, 2005.

BETINA, M. V. Desempenho de um Reator UASB Submetido a Diferentes Condições Operacionais Tratando Esgotos Sanitários do Campus da UFRJ. 2005. Dissertação Mestrado (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CAMPOS, J. R. Função de uma estação de tratamento de esgotos. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). Tratamento de esgotos sanitários por processos anaeróbios e disposição controlada. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999. p. 4-6.

CARNEIRO, C. et al. Manual técnico para implantação de cortinas verdes e outros padrões vegetais em estações de tratamento de esgoto. Curitiba: Sanepar, 2009.

CESA/UFRJ. Centro Experimental de Saneamento Ambiental – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Acesso em 24 de Abril de 2021, disponível em: <http://www.saneamento.poli.ufrj.br/index.php/br/infraestrutura/>.

CHERNICHARO, C. A. L., 1997, Reatores Anaeróbios – Princípios do tratamento biológico de águas residuárias v. 5 2a ed., Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG.

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

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. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, 2010.

CHERNICHARO, C. A. de L. Reatores anaeróbios. 2ª Edição, Vol. 5. Editora da UFMG. 2016.

DACACH. Nelson Gandur, 1925- Tratamento primário de esgoto/ Nelson Gandur Dacach. – Rio de Janeiro: EDC – Ed. Didática e Científica, 1991.

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

EPA U.S. Environmental Protection Agency. Guide field storage o biosolids and other organic by-products used in agriculture and for soil resource management. Acesso em 30 de abril de 2021, disponível em: <http://www.epa.gov/owm/bio/fsguide/appa.pdf>.

FELIX. E. P., Amônia (NH₃) atmosférica: fontes, transformação, sorvedouros e métodos de análise. Fevereiro 2004.

FRECHEN, Franz-Bernd. Regulations and policies. In: STUETZ, Richard; FRECHEN, Franz-Bernd (Eds.). Odour in Wastewater Treatment: Measurement, Modelling and Control. London: IWA Publishing, 2001. Cap. 2, p. 16-30.

GRASEL, A. M. Determinação de sulfeto de hidrogênio nas proximidades de estações de tratamento de esgoto em Curitiba-PR, Brasil. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

GLÓRIA, R. M. Estudo dos processos de formação, acumulação, emissão e oxidação de sulfeto de hidrogênio em reatores UASB tratando esgotos domésticos. Belo Horizonte, 2009.

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.

GONTIJO. J. C. Diagnóstico da produção de odor em estações de tratamento de esgotos domésticos e seus problemas relacionados. 2018.

LIMA, S. B. AVALIAÇÃO DA EMISSÃO DE GÁS SULFÍDRICO E OS IMPACTOS DE VIZINHANÇA NO ENTORNO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES, “ETE NORTE”, NA CIDADE DE PALMAS – TO. Palmas, 2020

LEGNER, C. (junho de 2019). Controle de Odor nas Elevatórias. Revista TAE. Acesso em 30 de Abril de 2021, disponível em: <https://www.revistatae.com.br/Artigo/155/controle-de-odor-nas-elevatorias>.

Lei Federal N°6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Acesso em 15 de Outubro de 2021, disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm

Lei Estadual N°997 de 31 de maio de 1976. Dispõe sobre o Controle da Poluição do Meio Ambiente. Acesso em 19 de Outubro de 2021, disponível em: https://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/documentos/lei_997_1976.pdf

Lei Estadual N°5.793 de 15 de outubro de 1980. Dispõe sobre a proteção e melhoria da qualidade ambiental e dá outras providências. Acesso em 19 de Outubro de 2021, disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Lei/1980/lei_sc_5793_1980_revvd_qualidadeambiental_sc_altrd_lei_9413_1994_5960_1981_revvd_lei_14675_2009.pdf

Lei Estadual N°1011/01 de 04 de junho de 2001. DISPÕE SOBRE A POLÍTICA AMBIENTAL, EQUILÍBRIO ECOLÓGICO, PRESERVAÇÃO E RECUPERAÇÃO DO MEIO AMBIENTE E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS. Acesso em 21 de Outubro de 2021, disponível em: <https://cm-palmas.jusbrasil.com.br/legislacao/248571/lei-1011-01>

Lei Estadual N° 3804 de 29 de julho de 2021. Dispõe sobre o Licenciamento Ambiental no âmbito do Estado do Tocantins, e adota outras providências. Acesso em 21 de Outubro de 2021, disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=417970>

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

LUDUVICE, M. L.; PINTO, M. A. T. P.; NEDER, K. D. Controle de odores em estações de tratamento de esgoto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19º, 1997, Foz do Iguaçu. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 1997.

LORA, E. E. S. Prevenção e controle da poluição nos setores energéticos, industrial e de transporte, 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 481 p., 2002.

LUDUVICE, M. Controle de odores em estações de tratamento de esgotos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., 2015, Brasília. Anais... Brasília: ABES, 2015.

MONTEGGIA, O. P, SOBRINHO P. A. Lagoas Anaeróbias. In: CAMPOS, J. R (coord). Tratamento de esgotos sanitários por processos anaeróbios e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES,1999. 464 p. Projeto PROSAB.

MARTINS, C. R.; Andrade, J. B. Química atmosférica do enxofre: emissões, reações em fase aquosa e impacto ambiental. Quim. Nova, Vol. 25, No. 2, 259-272, 2002.

MARTINS. C. R. Ciclos Globais de Carbono, Nitrogênio e Enxofre. Novembro, 2003.

MORAES, M. R. Ferramenta para a previsão de vento e dispersão de poluentes na microescala atmosférica. 166 f. Tese (Doutorado) – em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MOTTERAN, F.; PEREIRA, E. L.; CAMPOS, C. M. M. The behavior of an anaerobic baffled reactor (ABR) as the first stage in the biological treatment of hog farming effluents. Brazilian Journal of Chemical Engineering, v. 30, n. 2, p. 299-310, 2013.

NEDER, K. D. Controle de odores em estações de tratamento de esgotos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., 2015, Brasília. Anais... Brasília: ABES, 2015.

NUVOLARI, Ariovaldo. et. al. Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. 2ª edição. São Paulo: Blucher, 2011.

Norma Técnica L9.233 de dezembro de 1990. Dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação do sulfeto de hidrogênio – Método de ensaio. Acesso em 23 de Outubro de 2021, disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/normas-tecnicas-cetesb/normas-tecnicas-vigentes/>

Norma Técnica L9.230 da CETESB de setembro de 1993 . Dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação de amônia e seus compostos – Método de ensaio. Acesso em 23 de Outubro de 2021, disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/normas-tecnicas-cetesb/normas-tecnicas-vigentes/>

OLIVEIRA, S. V. Modelo para tomada de decisão na escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

OSHA - Occupational Safety and Health Administration. Osha Fact Sheet – Hydrogen Sulfide. (800) 321-OSHA. DSG, 2005.

OSWALD, W. J. Advances in anaerobic ponds systems design. Advanced in Water Quality Improvement, vol. 1, Austin. The University of Texas Press, 1968.

PARK, K.; LEE, H.; PHELAN, S.; LIYANAARACHCHI, S.; MARLENI, N.; NAVARATNA, D.; JEGATHEESAN, V.; SHU, L. (2014) Mitigation strategies of hydrogen sulphide emission in sewer networks: a review. International Biodeterioration & Biodegradation, v. 95, Part A, p. 251-261.

PINTO, M. T. Controle de odores em estações de tratamento de esgotos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., 2015, Brasília. Anais... Brasília: ABES, 2015.

PROKOP, W. H. ODORS. In: Air Pollution Engineering Manual. USA, Air & Waste Management Association, 1996. p. 147-154.

REYNOLDS, J. The largest wastewater treatment plants around the globe. Engineering News Record.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Acesso em 15 de Outubro de 2021, disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/CONAMA%20237_191297.pdf

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005. Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais. Acesso em 17 de Outubro de 2021, disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf

RESOLUÇÃO Nº 491, DE 19 DE NOVEMBRO DE 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Acesso em 17 de Outubro de 2021, disponível em: https://www.in.gov.br/web/guest/materia//asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895/do1-2018-11-21-resolucao-n-491-de-19-de-novembro-de-2018-51058603

SANTOS, Vanessa Sardinha dos. "Ciclo do Nitrogênio"; Brasil Escola. Acesso em 05 de maio de 2021. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/biologia/ciclo-nitrogenio.htm>.

SANTOS, E. A. Desodorização de sistemas de esgotamento sanitário por biofiltração. Santa Catarina, 2014.

SANTOS, A. S. P. Avaliação de Desempenho de um Filtro Biológico Percolador em Diferentes Meios Suporte Plásticos. 2005. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SANTO, K.S.E. Medidas de Controle de Odores da Estação de Tratamento de Esgoto Aurenry. 2019. 64 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2019.

SAWYER, C. N.; Mc CARTY, P. L.; PARKIN, G. F. Chemistry for environmental engineering 3. Ed. New York, McGraw-Hill, Inc., 532 p., 1994.

SILVA, A. B. Avaliação da produção de odor na estação de tratamento de esgoto Paranoá e seus problemas associados. Tese de Mestrado. Universidade de Brasília. Brasília, 2007.

SILVA, S. A. On the Treatment of Domestic Sewage in Waste Stabilization Ponds in Northeast Brazil. Ph. D. Thesis, University of Dundee, UK, 1982.

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 JÚNIOR, J. L. C. Da. RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO “Avaliação parcial das condições pluviométricas no Estado do Tocantins, durante o período chuvoso 2015/2016. Palmas, 2016.

SOUZA, C. L. Estudo Quantitativo e Qualitativo de Escuma Acumulada por Reatores UASB em Escala de Demonstração Tratando Esgotos Domésticos. 108P. (Dissertação). Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

STUETZ, R. M.; FENNER, R. A.; ENGIN, G. Assessment of odors from sewage treatment works by an electronic nose, H₂S analysis and olfactometry. Water Research, v. 33, n. 2, p. 453-461, 1999.

STERN, A. C.; BOUBEL, R. W.; TURNER, D. B.; FOX, D. L. Fundamentals of air pollution. 3rd ed. Academic press, Orlando, 1994.

SZARBLEWSK, M. d., SCHNEIDER, R. d., & MACHADO, E. L. Métodos para a remoção de sulfeto de hidrogênio de efluentes gasosos aplicáveis a reatores anaeróbios. Revista Jovens Pesquisadores. Santa Cruz do Sul, 2012.

TOMAR, M. & ABDULLAH, T.H.A. (1994) Evaluation of chemicals to control the generation of malodorous hydrogen sulfide in waste water. *Water Research*, v. 28, n. 12, p. 2545-2552.

TRUPPEL, A. Redução de Odores de uma Lagoa de Estabilização de esgoto sanitário e avaliação da qualidade de seu efluente. Florianópolis, 2002.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. Coleta e transporte de esgoto sanitário/ Milton Tomoyuki Tsutiya, Pedro Alem Sobrinho- 1ªed.- São Paulo: Departamento de Engenharia hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

UEHARA, V.; VIDAL, W. L. Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas. São Paulo: CETESB, 1989.

US EPA. Design manual: odor and corrosion control in sanitary sewerage systems and treatment plants. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/625/1- 85/018, 1985.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Toxicological review of hydrogen sulfide – EPA- 635/R-03/005.U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 2003, 74p.

United States Environmental Protection Agency. (1997). “Preferred methods for estimating emissions.” Volume II: cap. 5. Preferred and alternative methods for estimating air emissions from wastewater collection and treatment. North Carolina.

VON SPERLING, M.(1996) Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos. Vol 2. pp. 211 – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG – Belo Horizonte.

VON SPERLING, M. Lodos Ativados. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1997.

VON SPERLING, M. Lagoas de Estabilização - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 2ª Edição. Volume 3. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - DESA. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

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

VIEIRA, M. M. Abordagem de procedimentos legais para o controle de incômodos olfativos. Florianópolis, 2013.

WATER ENVIRONMENT FEDERATION (1999). Odor Control of Municipal Wastewater Treatment Plants. Manual of Practice.

WEATHER SPARK. Clima característico em Palmas Brasil durante o ano. Acesso em 20 de Outubro de 2021, disponível em Site da Spark Weather: <https://pt.weatherspark.com/y/30127/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Palmas-Brasil-durante-o-ano>