



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

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 – TO

2020

SABRINE BARBOSA LIMA

**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**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – PPGEA, da Universidade Federal do Tocantins – UFT, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Aurélio Pessôa Picanço

Palmas – TO

2020

Lima, Sabrina Barbosa.

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 73 f

Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, 2020.

Orientador: Prof. Dr. Aurélio Pessôa Picango

1. Impactos de Vizinhança. 2. Efluente Doméstico. 3. Tratamento Anaeróbio.

I. Título

CDU: 00

FOLHA DE APROVAÇÃO

SABRINE BARBOSA LIMA

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

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Nível Mestrado Profissional, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental. A presente dissertação foi aprovada pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo relacionados:

BANCA EXAMINADORA



Dr. Aurélio Pessôa Picango
Universidade Federal do Tocantins (Presidente)

Dr. Girlene Figueiredo Maciel
Universidade Federal do Tocantins (Membro titular interno)

Dr. Neyson Martins Mendonça
Universidade Federal do Pará (Membro titular externo)

Aprovada em: 07 de julho de 2020

O evento foi realizado por meio de vídeo conferência, conforme Art. 56-A da Resolução nº 13, de 22 de março de 2017, pela necessidade cautelar de distanciamento social em virtude da pandemia causada pelo coronavírus (SARS-CoV-2).

Dedico esse trabalho ao
meu filho Arthur Henrique.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente eu agradeço a Deus, que permitiu que esse sonho pudesse ser realizado, que trilhou meu caminho até aqui, que me ouviu, que me deu força para continuar nos momentos mais escuros, e que me torna cada dia mais agradecida das coisas que já me deu. Ao meu pai Wagner Barbosa (sempre na memória), que mesmo não estando mais aqui fisicamente, de alguma forma me encorajava a seguir em frente. Pai, o senhor foi e sempre será a minha maior saudade. Agradeço minha mãe Marilene Lima, por acreditar em mim muitas vezes mais do que eu mesma e ter me mostrando que eu não deveria querer menos do que o que Deus havia preparado para mim. Mãe, obrigada pelo amor, dedicação, preocupação e oração diária sempre. Eu te amo!

Ao meu esposo Leandro Henrique, que abraçou este projeto comigo, me apoiou, acompanhou em visitas de campo, se preocupou, vibrou e me incentivou se fazendo presente todo o tempo. Obrigada por tudo meu amor, você foi essencial.

Aos meus irmãos: Raniere, Diego e Naila e minhas cunhadas Soraia e Keilla pela parceria, pelo e pelas palavras de ânimo, Amo vocês. Aos meus sobrinhos queridos Ranierinho, Bernardo e Bebelá, que por diversas vezes foram meu combustível nessa caminhada. Pequenos, o que sinto por vocês vai além da palavra amor. Aos meus amigos e familiares, por entenderem minha ausência e mesmo assim me incentivarem a prosseguir. Aos meus colegas de aula obrigado pelo companheirismo, compreensão e ajuda. De alguma forma por menor que pareça cada um de vocês teve uma importante participação nessa conquista.

Agradeço meu orientador Professor Doutor Aurélio Pessoa Picanço que me auxiliou durante toda construção desse trabalho. Obrigada pelos ensinamentos adquiridos.

Enfim, hoje mais do que nunca sei o quanto muitas vezes a caminhada pode parecer difícil, mas se persistirmos em busca do que acreditamos ser o melhor para nós a vitória sempre fará tudo valer a pena. Como dizia Marthin Luther King (1929 -1968) “Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

RESUMO

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.** 73 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO, Brasil.

A instalação de estações de tratamento de esgoto nas proximidades de limites urbanos acarreta em problemas como a emissão de gases fétidos, oriundos de sistemas anaeróbios de tratamento, que, eventualmente, dispersam-se na atmosfera e geram impactos na qualidade de vida das populações no entorno. Esse trabalho teve como objetivo avaliar as emissões de H_2S oriundas da ETE Norte, localizada em Palmas – TO, e os impactos de vizinhança causados por essas emissões, com vistas as inúmeras denúncias por parte dos moradores do entorno da obra. Para tanto, os procedimentos metodológicos foram divididos nas seguintes etapas: (i) monitoramento climático, (ii) análise dos parâmetros físico-químicos do esgoto bruto e do efluente, (iii) identificação dos principais pontos de emissão de H_2S , (iv) entrevista com a população do entorno, (v) determinação da concentração de H_2S por lavadores de gás e (vi) verificação da presença de H_2S por amostradores passivos. Observou-se, a partir da análise dos parâmetros meteorológicos, que a direção dos ventos, de fato, segue para a localidade onde há maiores reclamações sobre o odor da ETE. Em relação aos parâmetros físico-químicos do esgoto bruto e efluente tratado, todos estiveram de acordo com as bases legais a nível nacional. As amostras coletadas pelo lavador de gás indicaram que as concentrações de H_2S ao longo da ETE atingiram valores considerados críticos (até 87 ppm, cerca de 11 vezes acima do permitido para exposições curtas, que é 8 ppm), que pode estar servindo como influência para formação e dispersão de plumas gasosas nas regiões do entorno. No entanto, as análises feitas por meio dos amostradores passivos indicaram que, nos pontos coletados, as concentrações de H_2S estavam abaixo do limite de detecção do método, o que reflete a ação das condições meteorológicas na dispersão do gás, observadas por meio de variações significativas entre períodos do dia e a condição do tempo (antes e após chuva). As respostas aos questionários refletiram os impactos do odor na vizinhança da ETE e o descontentamento da população quanto a falta de ação por parte da empresa responsável. Neste sentido, recomenda-se a implementação de tecnologias que sejam capazes de conter essas emissões em detrimento às características meteorológicas da área estudada.

Palavras-chave: Gás Poluente; Qualidade de Vida; Tratamento Anaeróbio; UASB.

ABSTRACT

LIMA, S. B. **Evaluation of sulphur hydrogen emission and the neighborhood impacts on the surrounds of the effluent treatment plant “ETE Norte” at Palmas, Tocantins, Brazil.** 73 pp. Master’s Degree Dissertation. Postgraduation Program in Environmental Engineering, Federal University of Tocantins, Palmas, TO, Brazil.

Construction of effluent treatment plants near to urban limits leads to issues such as bad smelling gases emission, typical of anaerobic systems, which eventually disperse into the atmosphere and generates impacts on life quality of the populations surrounding the area. This study aimed to evaluate H₂S emissions from the effluent treatment plant “ETE Norte” at Palmas, Tocantins, Brazil, and the neighborhood impacts caused by them, in light of the several complaints made by the population around the treatment plant area. In order to do so, the methodological procedures were divided into: (i) climate monitoring, (ii) raw and treated effluent physicochemical parameters analysis, (iii) identification of the main points of emission, (iv) interviewing neighborhood population, (v) determination of the H₂S concentration through gas washing and (vi) verification of H₂S presence by passive samplers. From the meteorological parameters, it was observed that wind direction was in fact going towards the area where there were more complaints about the odor. In regard to physicochemical parameters of the effluent, all of them were in close agreement to national standards of discharge quality. Air samples collected by the gas washer indicated high H₂S concentration throughout the plant area (up to 87 ppm, about 11 times higher than the permitted for short exposures, which is 8 ppm), possibly the main influence of formation and dispersion of bad smelling gaseous plumes into the neighborhood area. Contrastively, analysis of the passive sampler data suggested that all target points had H₂S concentration below the quantification limit of the method, which may be related to meteorological conditions influencing the gas dispersion, since there were significant variances between periods of the day and weather conditions (prior and after rain). The responses to the questions reflected the impacts caused by the odor and the unhappiness of the population in terms of lack of action from the concessionary. Given the information, it was recommended to implement technologies which are able to contain these emissions in detriment to local meteorological characteristics.

Keywords: Pollutant Gases; Life Quality; Anaerobic Treatment; UASB.

LISTA DE SIGLAS

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

DQO – Demanda Química de Oxigênio

WHO – World Health Organization

pH – Potencial Hidrogeniônico

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienist

NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health

US EPA – United States Environment Protection Agency

GPS – Global Positioning System

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

SST – Sólidos Suspensos Totais

SS – Sólidos Suspensos

ST – Sólidos Totais

UASB - Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

WEF – World Economic Forum

OSHA – Occupational Safety and Health Administration

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de localização da ETE Norte na cidade de Palmas – TO	22
Figura 2	Fluxograma da metodologia aplicada para o levantamento de dados na ETE Norte	23
Figura 3	Estação meteorológica DAVIS e console da estação	24
Figura 4	Translado e instalação da estação meteorológica	24
Figura 5	Download e coleta dos dados da estação meteorológica	25
Figura 6	Aparelho detector multigás Alert Max XT II	26
Figura 7	Pontos de monitoramento da emissão de sulfeto de hidrogênio (H ₂ S)	27
Figura 8	Procedimento de coleta com o aparelho multigás Alert Max XT II nos principais pontos de odor	28
Figura 9	Área de aplicação dos questionários (Localização da ETE Norte, Residencial Polinésia e Loteamento Água Fria)	29
Figura 10	Instalação e funcionamento do equipamento Trigás	30
Figura 11	Diagrama do sistema pneumático do Trigás da UFT/LABRESOL	31
Figura 12	Exemplar do amostrador passivo da marca Radiello [®] em funcionamento	32
Figura 13	Cartucho adsorvente e tipos de difusores axiais e radiais	32
Figura 14	Variações de temperatura ao longo do primeiro período de medição	34
Figura 15	Velocidade do vento ao longo do primeiro período de amostragem	35
Figura 16	Umidade relativa do ar durante o primeiro período de análise	35
Figura 17	Rosa dos Ventos com a incidência do vento medida ao longo da ETE Norte no período de janeiro e fevereiro de 2019	36
Figura 18	Sobreposição da Rosa dos Ventos em imagem área da ETE Norte no primeiro período de amostragem	37
Figura 19	Dados meteorológicos da estação localizada na ETE Norte em Palmas – TO no segundo período de amostragem	38
Figura 20	Direção do vento na região da ETE Norte em Palmas – TO no segundo período de amostragem	39
Figura 21	Rosa dos Ventos com dados coletados no segundo período de amostragem sobreposta em imagem área da ETE Norte	40
Figura 22	Comparativo do comportamento da direção dos ventos no primeiro (esquerda) e segundo (direita) períodos de amostragem	40

Figura 23	Valor de pH do esgoto bruto e efluente tratado – ETE Norte no período analisado	41
Figura 24	Sólidos sedimentáveis (SS), sólidos suspensos totais (SST) e sólidos totais (ST) do esgoto bruto e efluente tratado na ETE Norte	42
Figura 25	Demanda bioquímica de oxigênio do esgoto bruto e efluente tratado na ETE Norte	43
Figura 26	Demanda química de oxigênio no esgoto bruto e tratado na ETE Norte	43
Figura 27	Concentrações de nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal no esgoto bruto e tratado na ETE Norte	44
Figura 28	Concentrações médias de sulfato em relação às amostragens, locais de coleta e pontos de coleta. “U*” corresponde ao ponto único da amostragem feita na calha Parshall	45
Figura 29	Concentrações médias de sulfeto em relação às amostragens, locais de coleta e pontos de coleta. “U*” corresponde ao ponto único da amostragem feita na calha Parshall	48
Figura 30	Possíveis pontos de liberação de gás sulfídrico	52
Figura 31	Pontos de aplicação que afirmaram já ter sentido odor	52
Figura 32	Critérios socioeconômicos dos entrevistados	53
Figura 33	Informações dos entrevistados sobre o odor	54
Figura 34	Informações dos entrevistados sobre os impactos dos odores	56
Figura 35	Informações dos entrevistados sobre os impactos econômicos	57
Figura 36	Informações dos entrevistados sobre manifestações e percepções do odor	58
Figura 37	Informações dos entrevistados sobre as atitudes da empresa	59
Figura 38	Localização das medidas do amostrador de grandes volumes tipo Trigás	60
Figura 39	Mapa da localização dos amostradores passivos	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Exemplos de métodos disponíveis para controle de emissões gasosas	20
Tabela 2	Parâmetros da análise físico-química nas amostras de efluente da ETE Norte	25
Tabela 3	Análise da influência dos fatores de amostragem na concentração de sulfato	47
Tabela 4	Comparação das concentrações médias em relação aos fatores de amostragem	47
Tabela 5	Análise da influência dos fatores de amostragem na concentração de sulfeto	49
Tabela 6	Comparação das concentrações médias em relação aos fatores de amostragem	49
Tabela 7	Pontos que apresentaram concentração de H ₂ S no ar	50
Tabela 8	Concentração de H ₂ S no período matutino	50
Tabela 9	Efeito do Sulfeto de Hidrogênio em seres humanos	51
Tabela 10	Concentração de H ₂ S no período vespertino	51
Tabela 11	Concentrações de sulfeto de hidrogênio na circunvizinhança da ETE Norte	61
Tabela 12	Coordenadas geográficas dos pontos de instalações dos amostradores passivos	62
Tabela 13	Concentrações de sulfeto de hidrogênio na circunvizinhança da ETE Norte	63

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivo Geral	15
2.2. Objetivos Específicos	15
3. REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1. Percepção de Odores por Humanos	16
3.2. Emissão de Sulfeto de Hidrogênio em ETE	16
3.3. Impactos Ambientais das Emissões Odorantes	18
3.4. Influência Meteorológica na Dispersão de Odores	19
3.5. Tipos de Análise de Compostos Odorantes	19
3.5.1. Olfatometria	19
3.5.2. Nariz Eletrônico	20
3.5.3. Métodos Físico-Químicos	20
3.6. Métodos de Controle de Emissão	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1. Caracterização da Área de Estudo	22
4.2. Etapas do Estudo	23
4.2.1. Monitoramento Meteorológico	24
4.2.2. Análise dos Parâmetros Físico-Químicos	25
4.2.3. Identificação dos Pontos de Odor	26
4.2.4. Aplicação dos Questionários	28
4.2.5. Determinação da Concentração de H ₂ S Emitida	30
4.2.6. Verificação de H ₂ S por Amostradores Passivos	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1. Análise dos Parâmetros Meteorológicos	34
5.2. Análise dos Parâmetros Físico-Químicos	42
5.2.1. pH	42
5.2.2. Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Suspensos Totais e Sólidos Totais	43
5.2.3. Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO	44
5.2.4. Demanda Química de Oxigênio – DQO	45
5.2.5. Nitrito, Nitrato e Nitrogênio Amoniacal	46
5.2.6. Sulfeto e Sulfato	47
5.3. Identificação dos Pontos de Odor	52
5.4. Análise dos Dados das Entrevistas	55
5.4.1. Critérios Socioeconômicos dos Entrevistados	56
5.4.2. Informações sobre o Odor	57
5.4.3. Impactos na Vida Pessoal	59
5.4.4. Impactos Econômicos sobre o Patrimônio	61
5.4.5. Manifestações e Percepções quanto a Origem do Odor	62
5.5. Análise dos Lavadores de Gás H ₂ S	64
5.6. Análise dos Amostradores Passivos	66
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	70
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXOS	75

1. INTRODUÇÃO

O processo de expansão urbana requer infraestruturas essenciais para a manutenção da qualidade de vida da sociedade e uma delas é o saneamento básico. As estações de tratamento de efluentes (ETE), que recebem os resíduos líquidos urbanos para adequado tratamento antes da disposição final em corpos hídricos, são obrigatórias por lei no Brasil (BRASIL, 2007).

Atualmente existem diversas tecnologias para composição de ETE e o arranjo dos sistemas de tratamento, segundo von Sperling (2014), depende de características ambientais essenciais como temperatura local, regime de chuvas, direção dos ventos, topografia local, tipo de efluente, dentre outras. Pelo clima essencialmente tropical com intensa irradiação solar ao longo de todo o ano, o tratamento de efluentes por meio de tecnologias de cunho biológico compreende grande parte das ETE no país.

Dentre os tratamentos biológicos mais comumente utilizados no Brasil, as lagoas e reatores anaeróbios destacam-se pelo custo de manutenção relativamente baixo, eficiência de tratamento e baixa geração de resíduos (CHERNICHARO, 2016). No entanto, segundo Sarti et al. (2006), a principal desvantagem desse tipo de tratamento se dá pela emissão de odores desagradáveis, oriundos dos subprodutos da digestão anaeróbia, como o sulfeto de hidrogênio (H_2S). Este gás é fácil detecção pelo sistema olfativo humano, mesmo que em concentrações baixas ou em curtos intervalos de tempo (GRASEL, 2014).

Essa desvantagem traz à tona a problemática do impacto de vizinhança, principal motivo de denúncias feitas em órgãos ambientais por populações que circundam essas ETE.

Na cidade de Palmas, estado do Tocantins, a estação de tratamento de efluentes da Vila União, conhecida como ETE Norte, tem apresentado esse problema há alguns anos e diversas reclamações por parte da população da região já foram feitas, o qual se fez necessária a urgente execução de estudos para achar a melhor forma de conter a proliferação destes odores.

Além do impacto na qualidade de vida, a emissão desses odores pode ainda influenciar na depreciação do valor dos terrenos da região, que pode afetar o status socioeconômico, inibir o desenvolvimento local e, conseqüentemente, gerar impactos negativos na arrecadação de impostos e na venda dos imóveis (BELLI FILHO et al., 2001).

Neste sentido, esse trabalho avaliou a emissão de H_2S ao longo do espaço físico da ETE Norte e a influência de características ambientais na dissipação desse gás no entorno do local, com enfoque na qualidade de vida das populações impactadas, que foi analisada por meio de entrevistas para o levantamento de informações sobre os danos causados, e assim propor estratégias de controle das emissões.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a produção de odores por meio de metodologia que identifique e confirme a presença de sulfeto de hidrogênio (H_2S) em uma ETE, além dos impactos de vizinhança na população local.

2.2. Objetivos Específicos

- Monitorar o comportamento meteorológico da região para conhecer a influência do clima na dispersão dos odores;
- Analisar, periodicamente, amostras de efluente da ETE para determinação das concentrações de sulfato, sulfeto e DQO;
- Identificar os principais pontos de emissão de odor na ETE;
- Conduzir entrevistas com a população local para levantamento de informações sobre o impacto de vizinhança gerado;
- Determinar os teores de sulfeto de hidrogênio (H_2S) no interior, nos pontos de emissão e na região imediatamente externa à ETE com uso de amostrador de grandes volumes de ar;
- Verificar as concentrações de H_2S na vizinhança por meio de amostradores passivos;

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Percepção de Odores por Humanos

A percepção de odores por seres humanos ocorre por meio de sensações geradas durante a recepção de estímulos no sistema sensorial olfativo (DINCER e MUEZZINOGLU, 2007). As substâncias que geram odores possuem limites de detecção e/ou percepção, em relação a concentração mínima dessa substância, e a variação destes limites influenciam na intensidade do mau cheiro percebido (GOSTELOW et al., 2001).

Fatores externos como a variabilidade no sentido do cheiro entre diferentes observadores e a frequência de exposição podem influenciar na percepção destes, ao passo que a resposta humana à odores é significativamente subjetiva, dadas as diferenças entre indivíduos. Em termos de frequência de exposição, quando de forma prolongada, acarretam na redução de sensibilidade também denominada adaptação ou fadiga olfativa. Por outro lado, quando ocorre de maneira intermitente, induz a uma maior sensibilidade e o indivíduo adquire habilidade de identificação (KIM et al., 2011).

Em humanos, assim como em grande parte dos mamíferos, o sentido olfativo é bastante especializado, ao ponto de que as células olfativas são capazes de perceber substâncias/odores novos mesmo que em mínimas concentrações por metro cúbico de ar (WHO, 1981). Dentre os tipos de odores mais comuns tem-se o odor de mofo (perceptível em efluentes frescos), odor de ovo podre (predominante em efluentes maturados), odores variados da decomposição orgânica, odor de matéria fecal, odor de produtos rançosos, e alguns outros específicos, geralmente presentes em efluentes industriais (WHO, 2000).

Diversos estudos apontam procedimentos para resolução de problemas com odores expostos por reclamações internas e externas à ETE, de forma a avaliar a extensão do impacto e propor planos de ação dotados de métodos analíticos capazes de solucioná-los. Dentre as medidas mais comuns, pode-se citar a (1) determinação do impacto do odor, (2) identificação das principais fontes de emissão, (3) seleção de tecnologias viáveis e de baixo custo, (3) eliminação de condições anaeróbias, (4) tratamento dos gases, etc. (LYRA, 2008).

3.2. Emissão de Sulfeto de Hidrogênio em ETE

Os despejos de indústrias, a decomposição anaeróbia de matéria orgânica, as águas de infiltração e a redução de tiosulfato, sulfito, enxofre livre e outros compostos inorgânicos presentes em efluentes podem dar origem à sulfeto de hidrogênio em ETE. No entanto, a principal fonte é a redução bacteriana do íon sulfato (CHERNICHARO et al., 2010).

A redução do íon sulfato por bactérias em meio anaeróbio é comum por esse composto ser fonte de oxigênio quando não há oxigênio livre ou nitratos no efluente, que também são responsáveis pela oxidação bioquímica realizada por bactérias anaeróbias (MOTERRAN et al., 2013). Nestas condições, o íon sulfato reduz-se a íon sulfeto e estabelece o equilíbrio com o íon de hidrogênio, para formar sulfeto de hidrogênio, que assim segue a premissa da constante de ionização primária (CHERNICHARO, 2016).

A concentração de SO_4^{-2} em efluentes sanitários varia conforme o tipo e a quantidade de matéria orgânica, e as principais bactérias anaeróbias obrigatórias responsáveis pela redução de sulfato em sulfeto pertencem ao gênero *Desulfovibrio*, no qual as espécies mais comumente encontradas são *D. desulfuricans*, *D. vulgaris* e *D. salzigens* (von SPERLING, 2014).

Em ETE, os sulfatos fazem-se de grande importância por serem diretamente responsáveis por dois problemas comuns: a emissão de odores e corrosão de tubulações, principalmente quando há a redução para sulfeto, apresentada nas equações 1 a 3. Neste caso, o sulfeto de hidrogênio molecular dissolve-se no meio líquido e se dissocia por meio de reações de ionização reversíveis (STUETZ et al., 1999).

(1)

(2)

(3)

A presença de sulfeto de hidrogênio pode então existir em dois principais estados quando em meio líquido, isto é, na forma de sulfeto total ($\text{H}_2\text{S} + \text{HS}^- + \text{S}^{2-}$ + sulfatos metálicos suspensos) e na forma de sulfeto dissolvido ($\text{H}_2\text{S} + \text{HS}^- + \text{S}^{2-}$). Para a presença na forma não-dissociada, fatores externos como temperatura e internos como pH condicionam a integridade química do meio, ao passo que para temperaturas até 25 °C e pH abaixo de 7, o H_2S torna-se o principal componente dissolvido e, para temperaturas maiores e pH entre 7 e 10, há predominância da forma dissociada, ou seja, HS^- (TSUTIYA e SOBRINHO, 2000).

A quantidade de sulfeto de hidrogênio produzida pode ainda depender de outros parâmetros como carga orgânica, composição do substrato e do processo de competição entre as bactérias sulforedutoras e metanogênicas. A relativa proporção de H_2S e HS^- é de significativa importância para a avaliação do potencial de emissão destes para a atmosfera, ao passo que, no momento da emissão, o H_2S residual coexistirá com HS^- na mesma proporção, pela forma instantânea em que o equilíbrio se reestabelece (SAWYER et al., 1994).

O processo de emissão de compostos orgânicos voláteis em ETE pode ocorrer por duas principais vias: difusão ou convecção, ao passo que, eventualmente, ambos mecanismos podem ocorrer conjuntamente. Quando por difusão, a concentração dos odores na fase superficial do líquido é proporcionalmente maior do que na atmosfera, ao ponto dos compostos orgânicos se volatizarem e difundirem-se até um estado de equilíbrio entre o meio gasoso e líquido. Quando ocorre por convecção, fluxos de ar varrem os compostos voláteis da superfície e os liberam na atmosfera (MORAES, 2004).

3.3. Impactos Ambientais das Emissões Odorantes

Impacto ambiental é definido como toda e qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas de um ambiente, oriunda de matéria ou energia resultante das atividades humanas que afetam direta ou indiretamente diversos aspectos da qualidade de vida da população em geral (BRASIL, 1986). Os problemas relacionados a operação de ETE geram impactos ambientais em diversos níveis e, dentre os principais, destaca-se o impacto de vizinhança, momento em que a qualidade de vida das populações que rodeiam a área física da estação é afetada, por exemplo, pela emissão de fortes odores.

A redução dos impactos relacionados a emissão de odores é uma parte essencial da operação da ETE e do manejo de resíduos, o que o torna um processo complicado por conta da geração, emissão e movimentação desses gases, influenciado principalmente por condições climáticas (BROSTEL e SOUZA, 2005). Contudo, o avanço da tecnologia tem permitido o desenvolvimento de soluções diversas, que variam quanto a operacionalidade e custos.

A avaliação dos impactos ambientais, neste caso, faz-se de extrema importância na identificação, diagnose e mitigação das emissões de odores no entorno das estações de tratamento de efluentes, com prevalência da manutenção da qualidade de vida das populações. Mesmo com avanços na área, enfrenta-se ainda o problema da falta de padrões de emissão capazes de orientar equipes técnicas no processo de avaliação e mitigação destes impactos de vizinhança.

No Brasil, essa problemática é regida pela Resolução CONAMA nº 003 (BRASIL, 1990), que regulamenta os padrões de qualidade do ar, porém não especifica sobre padrões de emissão de sulfeto de hidrogênio em estações de tratamento de efluente ou de nenhum outro gás característico deste tipo de atividade. No mundo, a *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) e o *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) indicam que o limite de tolerância para emissão de H₂S é de 10 ppm por dia, e que a concentração mínima perceptível por humanos é em torno de 0,0005 ppm.

3.4. Influência Meteorológica na Dispersão de Odores

A instalação de estações de tratamento de efluentes requer, dentre vários outros estudos, o conhecimento sobre os padrões climáticos da região, ao passo que tais condições são responsáveis pelo transporte, transformação e dispersão dos gases emitidos ao longo do processo de tratamento escolhido. Parâmetros meteorológicos como direção e velocidade do vento, estabilidade atmosférica, pressão, temperatura, turbulências, etc., podem reduzir ou ampliar os níveis de poluição do ar em uma determinada região (NEVES, 1999).

A influência da velocidade do vento remete à diluição dos poluentes atmosféricos, ao passo que esses variam proporcionalmente, bem como também influi na turbulência causada por essa velocidade, responsável pela dispersão dos gases na atmosfera. Fortes turbulências geralmente resultam em boa distribuição das emissões e, nas proximidades do solo, resulta em turbulência por atrito que, por regra, é proporcional à velocidade do vento e à rugosidade do terreno (STERN et al., 1994).

Tais dispersões na proximidade da superfície do solo também são função da quantidade de gás presente, correlacionadas também à topografia local. A direção e transporte dos gases condiz com a velocidade em que o vento ocorre, o que constitui um critério fundamental no processo de avaliação de impacto ambiental, bem como auxilia na aplicação de modelos matemáticos para estudos de dispersão. Outro critério importante é a distância entre a fonte de odor mais crítica e as áreas residenciais do entorno (LORA, 2002).

3.5. Tipos de Análise de Compostos Odorantes

A literatura aponta a olfatometria, o nariz eletrônico e alguns métodos físico-químicos como os principais tipos de análise de compostos odorantes.

3.5.1. Olfatometria

No caso na olfatometria, é feita uma avaliação da resposta de um conjunto de indivíduos em exposição a certo odor, fundamentada na importância das mucosas nasais como captadores disponíveis para tal fim, dada a capacidade do olfato humano em discriminar e identificar inúmeros tipos de gases odorantes (BELLI FILHO e LISBOA, 1998). Dentre as vantagens deste método está a possibilidade de determinar a diluição do limite de percepção odorante e a estipulação da intensidade destes odores. A principal limitação, dada a característica psicofísica do método, é a obtenção apenas de dados qualitativos, contornada pelo uso de instrumentos auxiliares para a obtenção de dados quantitativos (CARVALHO et al., 2003).

Com a aplicação de técnicas da olfatometria é possível determinar também três valores limites envolvidos na percepção de odores: (1) o limite de percepção olfativa (K_{50}), que é a concentração na qual 50% do conjunto de indivíduos avaliados detectam o odor a que estão expostos; (2) o limite de caracterização olfativa, que é a capacidade de 50% dos indivíduos avaliados reconhecerem nominalmente a substância a que estão expostos; e (3) o limite de detecção olfativa, que condiz com a concentração em que 100% dos indivíduos avaliados identificam nominalmente o odor em exposição (CABRAL et al., 2007).

3.5.2. Nariz Eletrônico

Este método é baseado na utilização de uma rede de sensores de gás não-seletivos que simulam os receptores biológicos presentes no olfato humano, ao passo que os sinais emitidos pelo equipamento permitem associar a uma assinatura espectral ou a uma forma característica de determinado odor. As principais vantagens deste método são a possibilidade de obter rapidamente a impressão da mistura contida nos compostos odorantes e a assimilação de variações na intensidade do odorante (BENI FILHO e LISBOA, 1998).

3.5.3. Métodos Físico-Químicos

A análise de compostos odorantes baseada em métodos físico-químicos serve para identificar e quantificar as substâncias presentes em uma corrente gasosa ou no ar em que o gás está dissipado. Para grande parte das técnicas nessa metodologia, faz-se necessária a estipulação de um valor de pré-concentração por conta dos patamares de baixa concentração que alguns compostos apresentam na atmosfera. Dentre os instrumentos mais comuns para aplicação deste método destaca-se a cromatografia gasosa, análise iodométrica, gravimétrica, colorimétrica, volumétrica e calorimétrica (MARTIN e LAFFORTE, 1991).

3.6. Métodos de Controle de Emissão

Segundo US EPA (1985), os principais processos de tratamento de gases odoríferos podem ser classificados em físicos, químicos e biológicos, e alguns exemplos de cada classe estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Exemplos de métodos disponíveis para controle de emissões gasosas

FÍSICOS	
Método	Descrição/Aplicabilidade
<i>Retenção</i>	Instalação de coberturas, capuzes coletores e emprego de equipamentos para contenção e digestão dos gases odoríferos no sistema de tratamento.

<i>Diluição com Ar Livre de Odor</i>	Os gases podem ser misturados com ar fresco para reduzir os valores das unidades de odor.
<i>Combustão</i>	Odores gasosos podem ser eliminados por combustão em temperaturas que variam entre 650 e 815 °C, junto ou separadamente de resíduos do tratamento.
<i>Adsorção em Carvão Ativado</i>	Gases odoríferos são passados através de leitos de carvão ativado para remoção dos odores, e o carvão pode ser regenerado para reduzir custos.
<i>Adsorção em Areia/Solo</i>	Passagem dos gases odoríferos por leitos de areia, solo ou em mistura.
<i>Injeção de Oxigênio</i>	Injeta-se de oxigênio (ar oxigênio puro) à montante de onde deseja-se controlar a emissão de odor.
<i>Agentes Mascarantes</i>	Odores de perfume podem ser pulverizados na forma de névoas finas, próximos às unidades de tratamento, a fim de sobrepor ou mascararem os odores desagradáveis.
Químicos	
<i>Lavadores de Gases</i>	Os gases odoríferos podem ser passados através de torres de lavagem especialmente projetadas para remover odores.
<i>Oxidação Química na Fase Líquida</i>	Adição de produtos químicos no efluente como cloro, ozônio, água oxigenada, peróxido de hidrogênio, permanganato de potássio e nitrato de sódio.
<i>Precipitação Química</i>	Refere-se à precipitação de sulfetos com sais metálicos, especialmente o ferro.
Biológicos	
<i>Filtros Biológicos e Lodos Ativados</i>	Os gases podem ser passados através de filtros biológicos ou utilizados como ar de processo para tanques de aeração de lodo ativado, a fim de remover os compostos odoríferos.
<i>Torre de Remoção Biológica (Biofiltros)</i>	São torres preenchidas com recheios de vários tipos (terra, lodo de esgoto, madeira, turfa, etc.), no intuito de dar suporte ao crescimento de microrganismos que consomem os produtos químicos odorantes provenientes dos exaustores das ETE, oxidando-os e assim eliminando o odor.

Fonte: US EPA (1985), adaptado.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Caracterização da Área de Estudo

A Estação de Tratamento de Esgoto – ETE Norte está localizada no Projeto Assentamento Área Verde, Gleba 03, Chácaras 134, 145 e 146, em Palmas – TO, Brasil conforme Figura 1. A ETE possui capacidade instalada para 222 L s^{-1} , opera atualmente com 170 L s^{-1} , 24 horas por dia, e atende as Bacias dos córregos Sussuapara, Brejo Cumprido e Água Fria, na região norte da cidade.



Figura 1 – Mapa de localização da ETE Norte na cidade de Palmas – TO

A ETE Norte passou por reforma em suas instalações e, no ano de 2013, deu-se início a atual configuração do sistema de tratamento para a melhoria da qualidade final do efluente. Na concepção inicial operava como lagoa aerada, contudo, ao longo dos anos, foram necessárias alterações na configuração das unidades de tratamento que receberam novas tecnologias. A lagoa aerada passou a ser um Tanque Pulmonar para recebimento de esgoto bruto excedente, especialmente em períodos chuvosos. Em relação a edificação predial, a ETE possui uma área administrativa composta por salas de reunião, sala de controle operacional, sanitários, vestiários e copa.

Quanto às etapas de tratamento dos efluentes na ETE Norte, o sistema constitui-se por tratamento preliminar com gradeamento mecanizado, no qual os resíduos sólidos grosseiros são retidos por grades com espaçamento entre cinco e dez centímetros, desarenador, elevatória e medidor de vazão tipo calha Parshall. O tratamento primário ocorre em Reator

Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB), para digestão anaeróbia da matéria orgânica, e o gás gerado, ao atingir o separador interno, é canalizado até o queimador.

O tratamento secundário ocorre por sistema de lodos ativados com aeração prolongada, em que o efluente passa por tanque sob aeração para retirada da matéria orgânica residual, e segue para um decantador, do qual sai clarificado. Os sólidos sedimentados formam um lodo de fundo, que contém bactérias ativas aptas à continuidade do tratamento, que são enviadas novamente por recirculação para o tanque de aeração.

O excesso de lodo é direcionado para adensadores, flotadores e então armazenados em bags para desidratação. O efluente tratado segue para lançamento final no interior do Lago da Usina Hidrelétrica Luís Eduardo Magalhães.

4.2. Etapas do Estudo

A metodologia abordada para o monitoramento da emissão de gases odorantes na estação de tratamento de esgoto ETE Norte foi realizada em 6 etapas, como mostra a Figura 2.

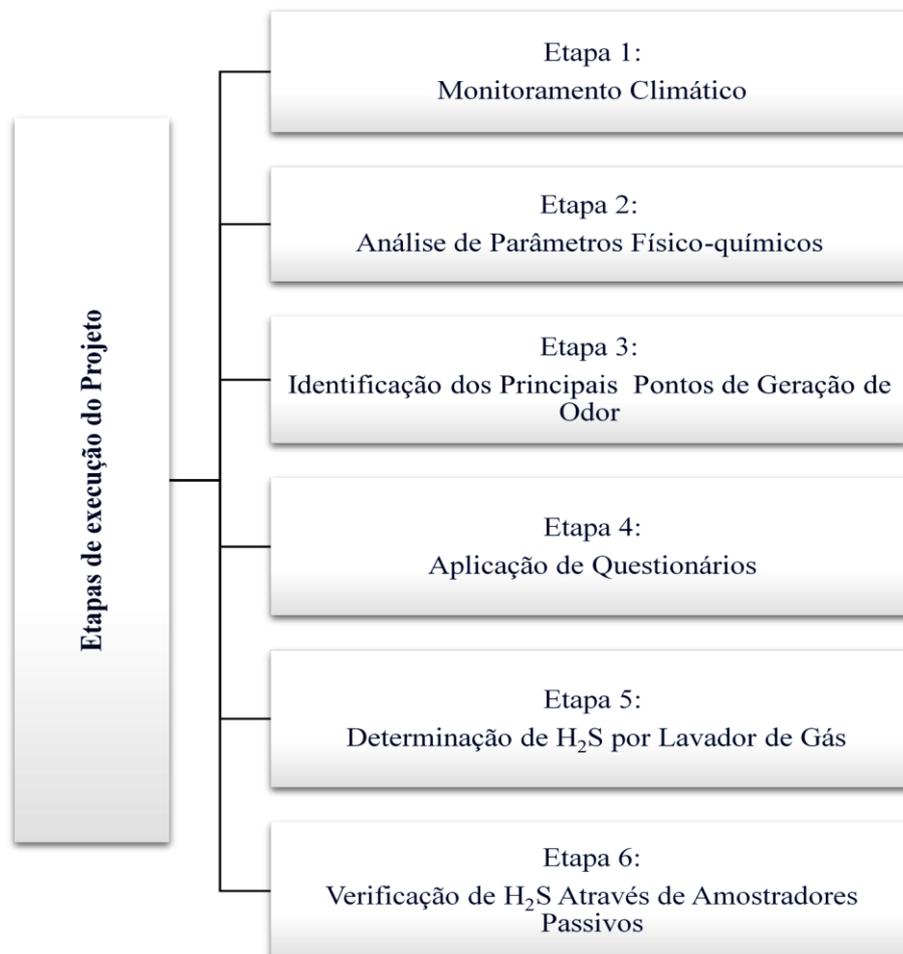


Figura 2. Fluxograma da metodologia aplicada para o levantamento de dados na ETE Norte

4.2.1. Monitoramento Meteorológico

Esta etapa teve início dia 18/12/2018, após caracterização prévia da área de estudo com auxílio de GPS (*Global Positioning System*), em que se determinou a localização e definiu-se o melhor posicionamento para a instalação da estação meteorológica dentro da ETE Norte. A coleta dos dados meteorológicos foi realizada com auxílio de uma estação meteorológica portátil automática da marca DAVIS, composta por: console, abrigo multiuso, módulo de interface de sensor, sensor de radiação solar, sensor de temperatura e umidade, anemômetro, coletor de precipitação, e painel solar, como mostra a Figura 3.



Figura 3 – Estação meteorológica DAVIS e console da estação (A autora, 2020)

O local de instalação teve como objetivo representar não somente a área de interesse de monitoramento, como também um espaço livre de interferências na coleta e na comunicação de dados do equipamento. Desta forma, a seleção adequada do local não só garantiu que os dados colhidos fossem replicados de forma adequada, como também assegurou a precisão das informações obtidas. O traslado e instalação da estação meteorológica automática na ETE Norte ocorreu dia 21/12/2018, como mostra a Figura 4.



Figura 4. Translado e instalação da estação meteorológica (A autora, 2020)

A coleta de dados na estação meteorológica ocorreu por 34 dias ininterruptos, entre os meses de janeiro e fevereiro de 2019, e por outros 19 dias, entre os meses de setembro e outubro do mesmo ano, com frequência de 1 registro a cada 5 minutos pelo sistema de armazenamento da própria estação, em que foram coletados os parâmetros: velocidade e direção do vento, temperatura do ar, umidade relativa do ar e pressão barométrica. O download dos registros foi realizado a cada 2 dias conforme apresentado na Figura 5, de acordo com necessidade de troca da bateria. Esses dados foram organizados em planilhas do software Microsoft Excel para inserção no programa *Wrplot View* para análise gráfica.



Figura 5. Download e coleta dos dados da estação meteorológica (A autora, 2020)

4.2.2. Análise dos Parâmetros Físico-Químicos

Para a caracterização do esgoto da ETE Norte, foi solicitado à empresa contratante BRK Ambiental uma série histórica de análise dos parâmetros físico-químicos: DBO, DQO, pH, sólidos totais, sulfeto e sulfato conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros da análise físico-química nas amostras de efluente da ETE Norte

Parâmetros	Sigla	Unidade	VR*
Demanda Bioquímica de Oxigênio	DBO	mg L ⁻¹	Redução mínima de 60%
Demanda Química de Oxigênio	DQO	mg L ⁻¹	-
Potencial Hidrogeniônico	pH	mg L ⁻¹	6 a 9
Sólidos Suspensos Totais	SST	mg L ⁻¹	Redução mínima de 20%
Sólidos Totais	ST	mg L ⁻¹	-
Sulfeto	S	mg L ⁻¹	1,0
Sulfato	SO ₄ ²⁻	mg L ⁻¹	-

Nota: VR: valor de referência (Resolução CONAMA n° 430 de 2011).

As análises fornecidas foram referentes ao período de novembro de 2017 a novembro de 2018, coletadas na entrada e saída da estação e entre as principais unidades do sistema de tratamento (entrada e saída do reator UASB e do tratamento preliminar). A escolha desses parâmetros foi crucial para a avaliação da relação entre os compostos químicos presentes no esgoto, associados à atividade bacteriana na produção de odor.

Quando da solicitação dos dados, foi informado pela empresa contratante que análises referentes às concentrações de sulfeto e sulfato não eram rotina dentro do laboratório da empresa. Assim, enviou-se outra solicitação explicando a importância das análises dos respectivos parâmetros, e assim a empresa contratante ficou responsável por fazê-las nas amostras coletadas a partir da data de solicitação, ao longo de 30 (trinta) dias. Os pontos solicitados para amostragem foram na entrada e saída da estação, além de pontos intermediários do sistema como: entrada e saída do gradeamento, entrada e saída do reator UASB.

4.2.3. Identificação dos Pontos de Odor

As concentrações de gases gerados a partir dos processos operacionais na ETE Norte foram obtidas por meio do aparelho detector multigás portátil *Alert Max XT II* (Figura 6), mediante calibração e coletas-teste. O princípio de funcionamento do equipamento *Alert Max XT II* é baseado na absorção do gás pelo sensor e no visor do próprio aparelho é indicado o tipo de gás detectado e a quantidade presente no ponto de coleta. O sensor para o gás sulfídrico (H_2S) situa-se na faixa de absorção de 0 a 100 ppm, com sensibilidade de $\leq \pm 5\%$.



Figura 6. Aparelho detector multigás *Alert Max XT II* (A autora, 2020)

O primeiro passo para as mensurações ocorreu com o mapeamento dos possíveis pontos de geração de odor, a partir de análise observatória *in loco*, com o auxílio da planta baixa da ETE, fornecida pela empresa contratante BRK Ambiental, e um aparelho digital de

localização (GPS). Assim, foi possível encontrar a latitude e a longitude (coordenadas geográficas) de 11 pontos mensurados, conforme apresentados na Figura 7. Para esta etapa, buscou-se ainda utilizar a olfatosmetria como ferramenta de certificação da presença de odor, com vistas à afirmação posta por Schirmer (2004), de que o olfato humano é capaz de detectar odores em baixas concentrações devido à alta sensibilidade que possui.

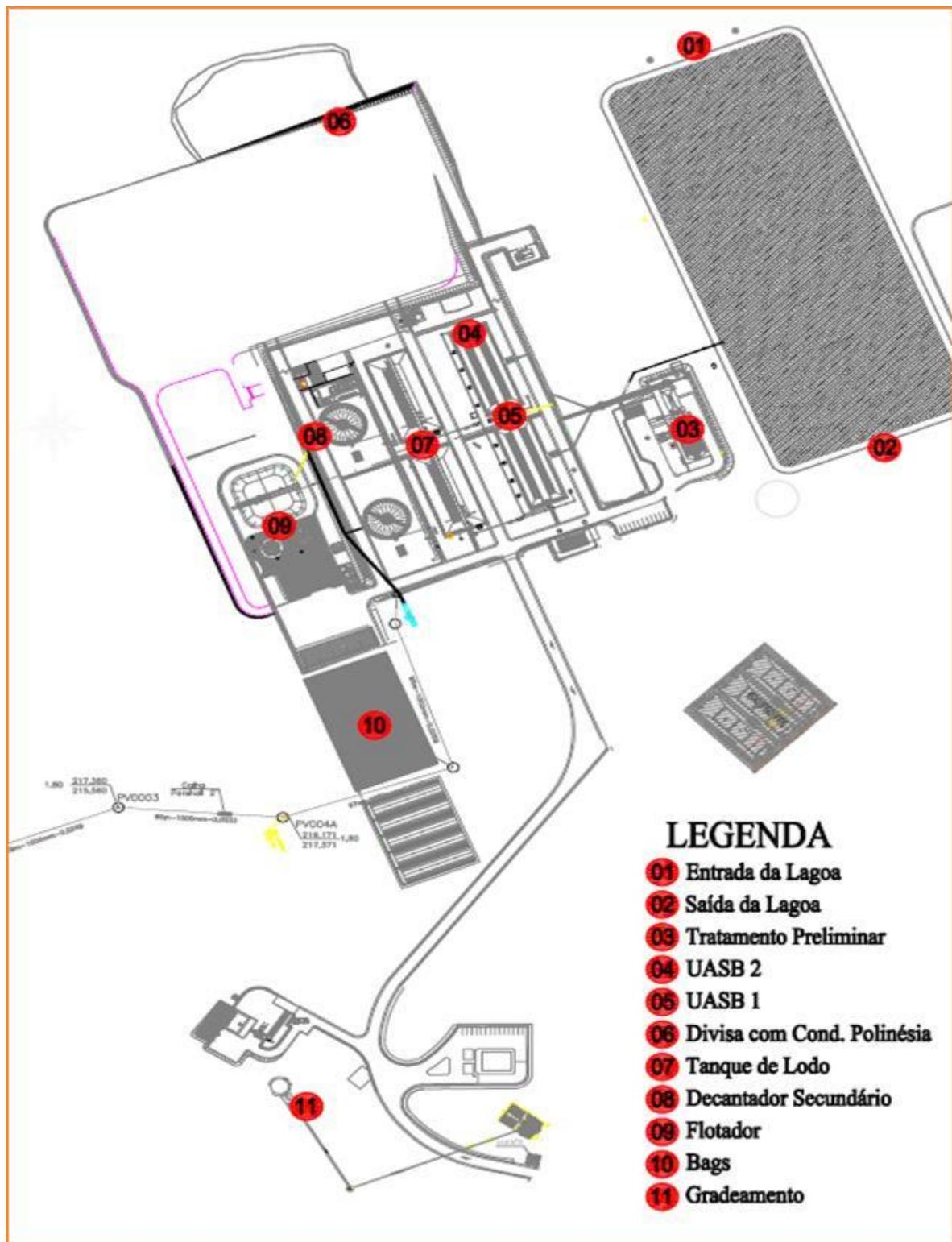


Figura 7. Pontos de monitoramento da emissão de sulfeto de hidrogênio (H₂S)

As medições de emissão de gases foram realizadas em horários alternados durante 7 dias, com o aparelho a cerca de 1 (um) metro do nível do solo, conforme apresentado na Figura 8, pois o gás sulfeto de hidrogênio é mais denso que o ar (OLIVEIRA, 2013). No entanto, a etapa de identificação dos pontos de geração do odor foi interrompida no início do mês de março, pois após avaliação da equipe operante em campo, foi preciso o envio do aparelho para manutenção e calibração. Contudo, a etapa foi restabelecida ainda no mesmo mês.



Figura 8. Procedimento de coleta com o aparelho multigás *Alert Max XT II* nos principais pontos de odor (A autora, 2020)

4.2.4. Aplicação dos Questionários

Para essa etapa foram elaboradas 16 questões objetivas, divididas nos seguintes tópicos: (i) caracterização do entrevistado, (ii) caracterização quanto à percepção do odor e (iii) nível de interferência do odor na vida pessoal e social da vizinhança. Essa divisão foi feita para facilitar o entendimento e a escolha da resposta, pois a finalidade da aplicação do questionário foi identificar os efeitos do odor nas populações circunvizinhas a ETE, em relação a intensidade desse odor e o incômodo gerado.

A aplicação do questionário, conforme estabelecido em contrato, englobou uma amostra populacional de 50 indivíduos residentes na região do entorno. A escolha dos entrevistados ocorreu a partir de residências situadas num raio de 1 km da ETE Norte (Figura

9) que considerou o comportamento do vento como indicador para a dispersão do odor gerado, com base nos dados meteorológicos obtidos ainda na Etapa 1.



Figura 9. Área de aplicação dos questionários (● localização da ETE Norte e ● Residencial Polinésia e Loteamento Água Fria)

O instrumento utilizado para a coleta de dados na identificação dos efeitos do odor na saúde das populações circunvizinhas a ETE Norte foi um questionário com perguntas fechadas e de contato direto entre entrevistador e entrevistado. A atividade iniciou-se em janeiro de 2019, com a aplicação de um questionário-teste a 3 moradores inseridos na área de influência direta. A aplicação do teste se fez necessária para evitar futuros problemas e/ou dúvidas que pudessem surgir durante a aplicação do questionário final, visto como um ensaio geral do funcionamento das aplicações futuras (GOODE e HATT, 1972).

Após realizada as alterações necessárias, identificadas no questionário-teste, aplicou-se o questionário final entre os dias 20 e 28 de março de 2019, no qual constavam 16 perguntas de múltipla escolha, entre respostas quantitativas e outras de percepção do entrevistado em relação ao odor. O questionário final completo está no Anexo 1 do presente trabalho.

No momento da abordagem após a apresentação inicial do aplicador foram passadas aos participantes informações sobre a pesquisa como: nome do projeto, quem o realizou, o objetivo e a importância da participação dos moradores. Foi garantido aos entrevistados o

anonimato na divulgação dos resultados da pesquisa, para que pudessem responder sem constrangimentos. As casas participantes foram selecionadas ao acaso e todos os moradores aceitaram participar da pesquisa.

4.2.5. Determinação da Concentração de H₂S Emitida

A concentração emitida de H₂S foi determinada por meio de lavadores de gás instalados em pontos estratégicos no interior da ETE, próximo aos pontos de maior intensidade do gás, previamente identificados na Etapa 3, bem como em pontos no condomínio Polinésia Residence & Resort, num total de 15 amostras coletadas ao longo de 24 h. O método de análise foi por absorção, com auxílio do equipamento Trigás da marca Energética, em que o H₂S na forma gasosa é transferido para um meio líquido ou sólido e, em seguida, dissolvido.

O equipamento captou um volume de ar atmosférico que ficou retido em uma solução padrão de acetato de chumbo, posteriormente analisada em laboratório por meio de técnicas químicas de via úmida e espectrofotometria. O valor encontrado foi dividido pelo volume total da amostra de ar atmosférico para obtenção da concentração do gás de interesse. O sistema de funcionamento do Trigás constituiu-se de um funil de vidro, uma mangueira, um suporte com três tubos de alumínio e frascos de 125 ml (Figura 10).



Figura 10. Instalação e funcionamento do equipamento Trigás (A autora, 2020)

O funcionamento se inicia quando o ar entra por meio de funil de captação conectado a uma mangueira flexível, que segue para o pré-filtro com a finalidade de retirar partículas de

impurezas do ar. Essa amostra de ar passa, em seguida, para o tubo de vidro distribuidor que divide o fluxo em três partes. Cada um destes três fluxos é encaminhado a um frasco cujo tubo interno possui ponta pipetada. Nesses frascos, o reagente retém os gases poluentes e o restante do gás amostrado continua a circular até o fim do equipamento.

Em sequência, o ar passa por outro filtro de membrana com porosidade de 0,8 μm para eliminação de qualquer vestígio de gotículas ou partículas que possam entupir os orifícios do equipamento, denominados orifícios críticos. Dessa forma, o ar, já sem gotículas e partículas indesejadas, passa por esses orifícios que tem por função limitar e controlar a vazão de amostragem continuamente.

O cálculo para conhecimento do volume de ar amostrado (V_{ar}), que passa por cada frasco, foi obtido conforme indicado na Equação 1, em que “ V_{ar} ” é o volume de ar amostrado (cm^3), “ Q_{oc} ” é a vazão limitada por cada orifício crítico (L min^{-1}), “ t_a ” é o tempo de amostragem (min), “ P_1 ” é a pressão atmosférica durante a calibração do orifício crítico (atm), “ T_1 ” é a temperatura ambiente durante a calibração do orifício crítico ($^{\circ}\text{C}$), “ P_2 ” é a pressão atmosférica média durante a amostragem (atm), e “ T_2 ” é a temperatura média durante a amostragem ($^{\circ}\text{C}$).

$$\sqrt{\frac{P_1}{P_2} \frac{T_2}{T_1}} \quad \text{(Equação 1)}$$

Posteriormente, as amostras coletadas foram acondicionadas em refrigeração até o envio para análise por meio de Cromatografia de Troca Iônica que quantifica a massa do gás poluente coletado, no Centro de Biologia Experimental Oceanus – Hidroquímica, no Rio de Janeiro – RJ. Na Figura 11 apresenta-se o diagrama do sistema pneumático do equipamento Trigás, produzido pela empresa Energética Ltda e patrimônio da Universidade Federal do Tocantins.

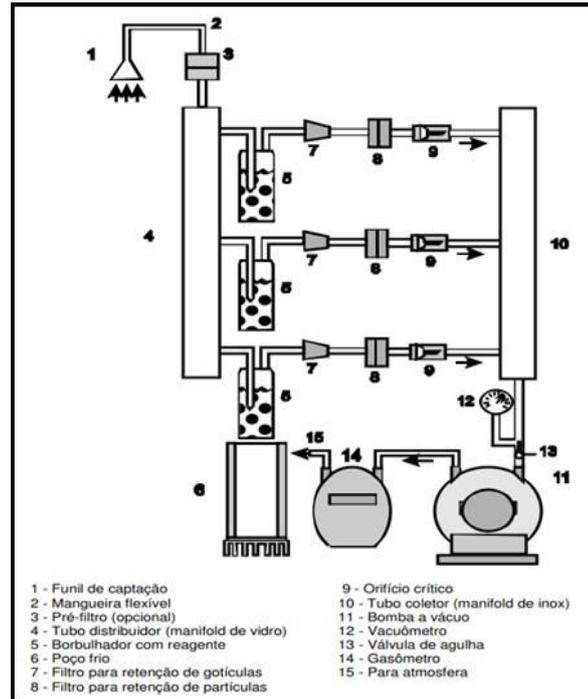


Figura 11. Diagrama do sistema pneumático do Trigás da UFT/LABRESOL (Fonte: Energética – online)

4.2.6. Verificação de H₂S por Amostradores Passivos

Nessa etapa, a amostragem de ar para verificação de existência de gás sulfídrico ocorreu com o auxílio de amostradores passivos da marca Radiello[®], que consiste em um kit composto por cartucho adsorvente microporoso específico para sulfeto de hidrogênio, uma placa de suporte, uma etiqueta de identificação da amostra e um corpo de difusão branco, conforme ilustrado na Figura 12.



Figura 12. Exemplar do amostrador passivo da marca Radiello[®] em funcionamento (A autora, 2020)

Para realização da amostragem, o cartucho adsorvente foi inserido no corpo de difusão que possui 65 mm de comprimento e 16 mm de diâmetro. O uso do corpo de difusão tem por objetivos: (i) proteger o cartucho adsorvente e (ii) proporcionar a passagem do gás de interesse de maneira homogênea em toda a extensão do cartucho. Nesse caso, a adsorção ocorre de maneira radial, que permite maior taxa de amostragem do que os modelos axiais por possuírem superfície de difusão maior, conforme apresentado na Figura 13.

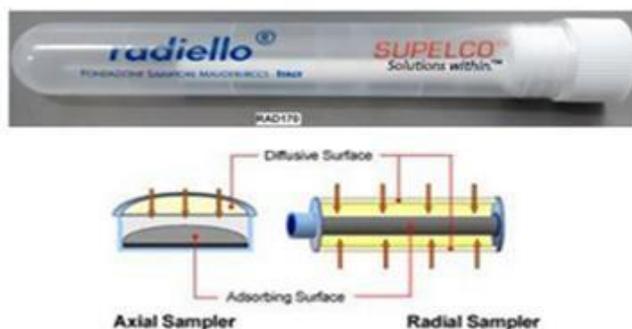


Figura 13. Cartucho adsorvente e tipos de difusores axiais e radiais (Fonte: Sigma Aldrich® - online)

O tubo de difusão com o cartucho adsorvente inserido foi acoplado na placa de suporte (Figura 12) e fixado no local de amostragem, longe de possíveis fontes contaminantes. A identificação de cada conjunto foi feita de maneira adequada, com data e horário inicial e final, uma vez que o tempo de exposição do cartucho é determinante para o cálculo da concentração. O tempo de amostragem definido foi de 7 dias e as amostras, após serem coletadas, seguiram para análise pelo Centro de Biologia Experimental Oceanus – Hidroquímica, no Rio de Janeiro – RJ, onde foi feita a extração do gás e análises pelo método de Cromatografia de Troca Iônica.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análise dos Parâmetros Meteorológicos

A partir dos dados da estação meteorológica foram plotados gráficos com auxílio dos softwares *WRPLOT View*, que permite a construção da rosa dos ventos, e do Microsoft Excel, para tabulação dos dados de forma geral. Para melhor visualização dos dados coletados nos dois períodos de análise, exibe-se a média diária referente a cada parâmetro monitorado, conforme ilustrado nas Figuras 14 a 18 (primeiro período) e Figuras 19 a 22 (segundo período).

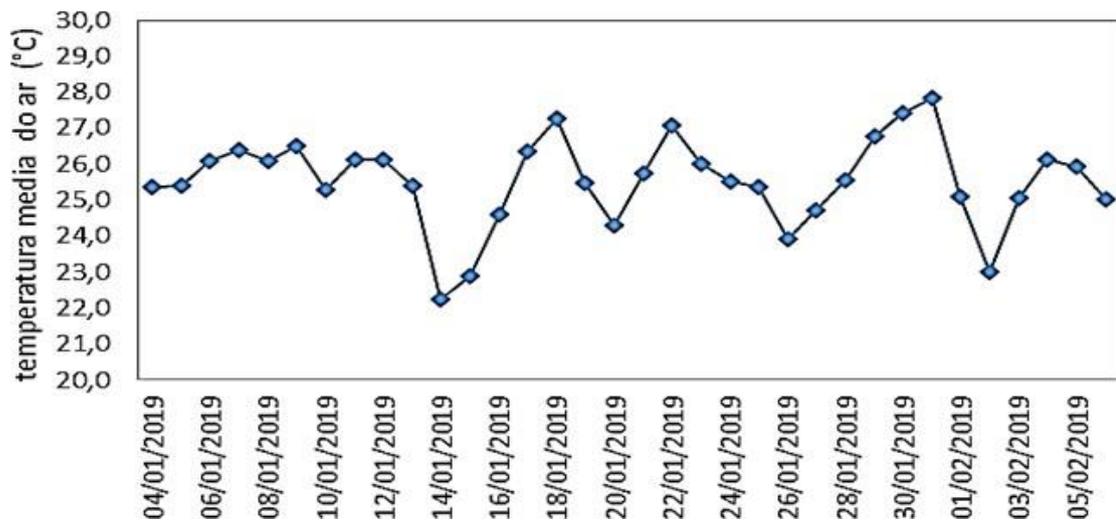


Figura 14. Variações de temperatura ao longo do primeiro período de medição (A autora, 2020)

Como observado na Figura 14, as médias de temperatura variaram entre 22,5 e 27,8 °C ao longo do primeiro período de amostragem, com média de 25,2 °C. A cidade de Palmas, segundo dados do INPE (2016), caracteriza-se por possuir clima tropical e possui duas estações bem definidas, verão frio e seco e inverno quente e chuvoso, com amplitudes térmicas significativas para cada estação, mas sem variação expressiva entre estações (diferença média de 5 °C). A média de temperatura da cidade gira em torno dos 25,3 °C, valor próximo ao obtido pelas mensurações apontadas.

Sabe-se que valores de temperatura mais elevados durante o dia podem influenciar a temperatura do esgoto e, assim, favorecer a produção e emissão de sulfeto de hidrogênio. Conforme Silva (2007), a temperatura está relacionada com o transporte vertical do ar, pois quando essa diminui, a turbulência na atmosfera também diminui e, conseqüentemente, piora a capacidade de dispersão de poluentes.

Na Figura 15 estão apresentados os dados de velocidade do vento obtidos no primeiro período de amostragem.

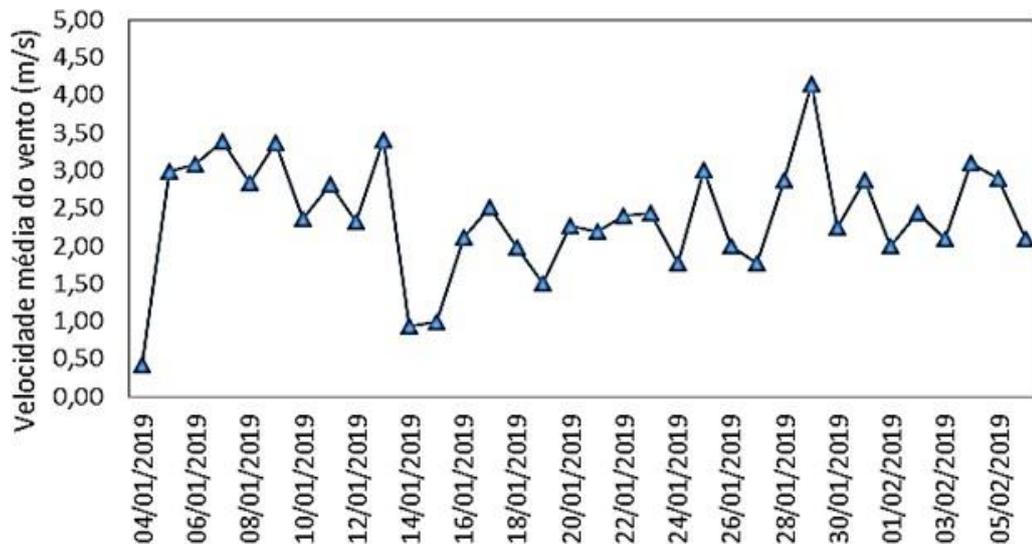


Figura 15. Velocidade do vento ao longo do primeiro período de amostragem (A autora, 2020)

A Figura 15 mostra que os valores da velocidade do vento no primeiro período de análise variaram entre 0,30 e 4,15 m s^{-1} , com média geral de 2,488 m s^{-1} . Percebe que, ainda no início da amostragem, o valor de velocidade estava mínimo em relação aos demais, o que representa a classificação de calmaria (para velocidades $< 0,5 \text{ m s}^{-1}$), fator que prejudica a dispersão de poluentes e concentra os gases em uma só região (LORA, 2002). Como as medições foram realizadas no começo do período chuvoso, a influência da dinâmica térmica tende a ser menor em relação turbulência vertical, portanto, o movimento do ar orientava-se por meio da trajetória que oferecera menor resistência. Na Figura 16 são exibidos os dados referentes a umidade relativa do ar.

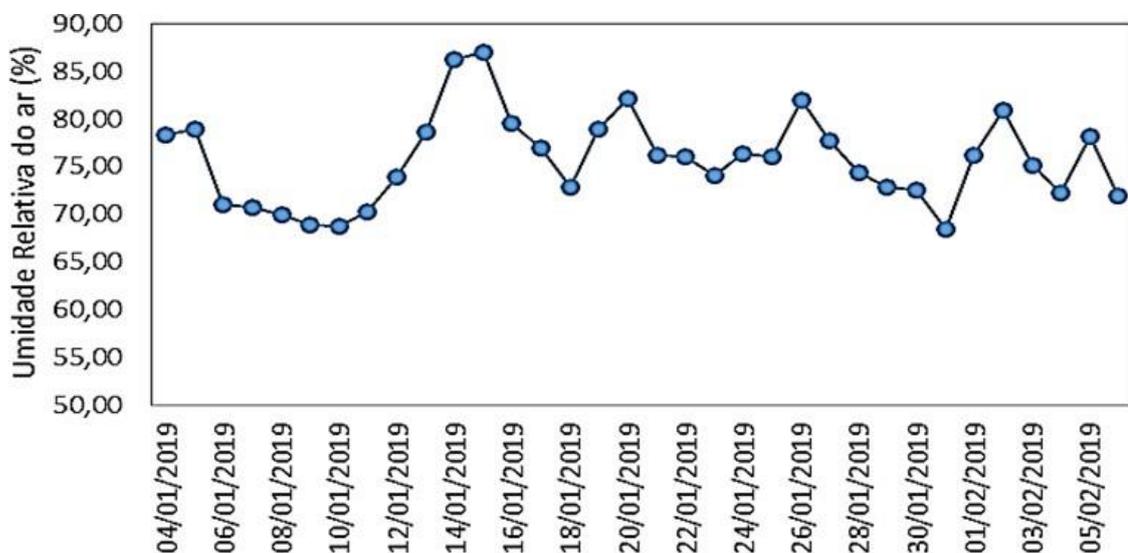


Figura 16. Umidade relativa do ar durante o primeiro período de análise (A autora, 2020)

A média diária foi de 75,84%, com máxima e mínima de, respectivamente, 87,08% e 68,7%. Segundo Rodrigues (2016), elevada umidade aliada a altas temperaturas é uma condição favorável à redução da concentração de poluentes no ar, pela possibilidade de serem depositados em superfícies.

A partir dos dados meteorológicos de direção e velocidade do vento, obteve-se a rosa dos ventos apresentada na Figura 17 com auxílio do Software WRPLOT, que estabeleceu a direção predominante dos ventos em razão da faixa de velocidade mais frequente. Observou-se predominância dos ventos para direção nordeste (1814 registros), que representou 58,1% da frequência total. Os ventos para direção noroeste representaram 29,9%, seguidos por aqueles para direção sudeste, com 12%. As faixas de velocidades mais frequentes estiveram entre $2,6 \text{ m s}^{-1}$ e $3,6 \text{ m s}^{-1}$.

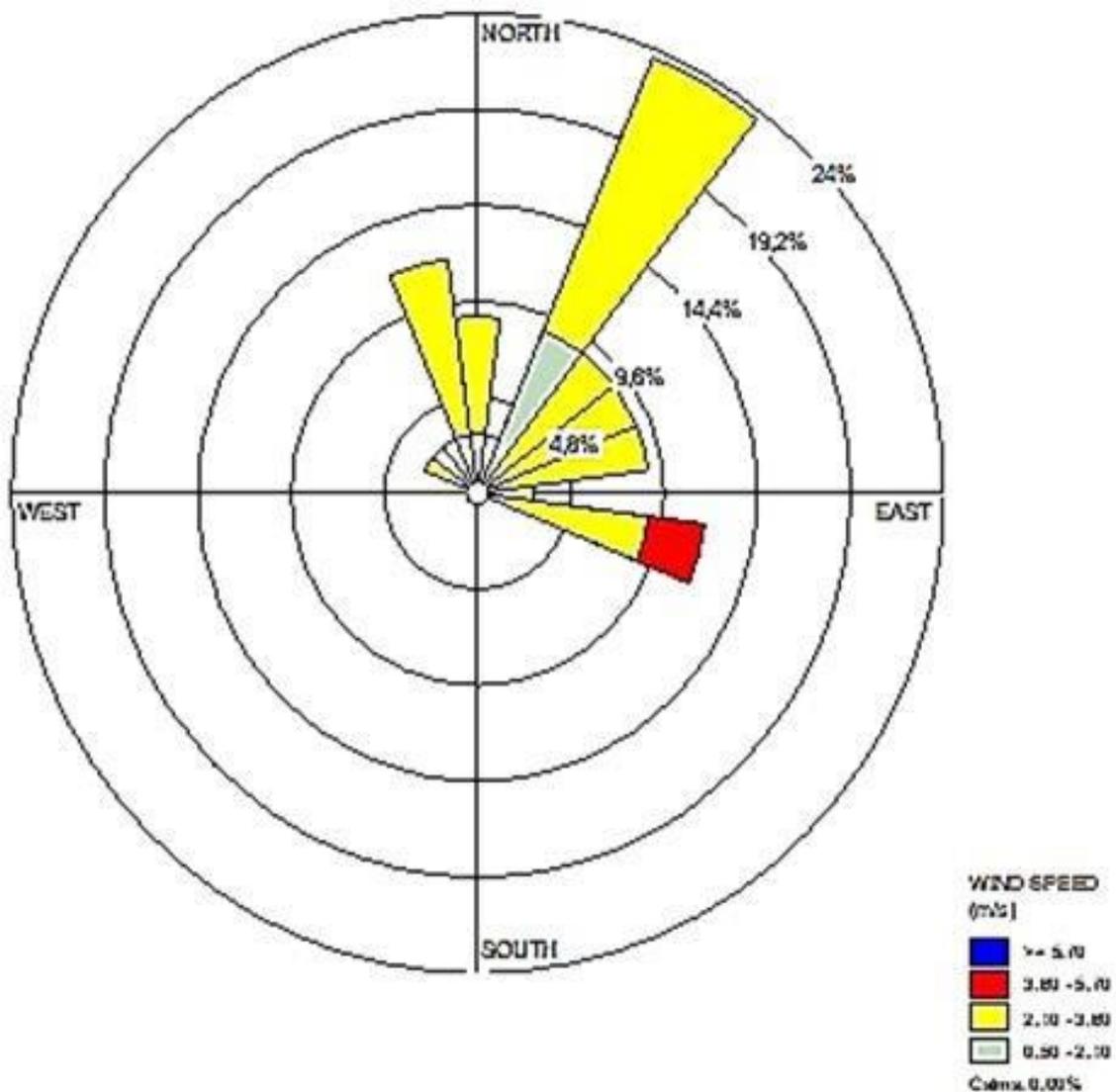


Figura 17. Rosa dos Ventos com a incidência do vento medida ao longo da ETE Norte no período de janeiro e fevereiro de 2019 (A autora, 2020)

A seguir, na Figura 18, é possível observar a sobreposição da incidência do vento em uma imagem aérea da área de estudo, em que fica nítido o comportamento da direção do vento no sentido do Condomínio Polinésia.



Figura 18. Sobreposição da Rosa dos Ventos em imagem aérea da ETE Norte no primeiro período de amostragem (A autora, 2020)

A análise da Rosas dos Ventos, conforme apresentado na Figura 18, sugere que os poluentes gasosos gerados na ETE são direcionados de forma mais difusa e com mais velocidade para o Condomínio Polinésia e com menor frequência em direção ao loteamento Água Fria. Pode-se verificar, ainda com base na Figura 18, que as turbulências e os valores de velocidade do vento identificados nesse período são favoráveis a dissipação de partículas em suspensão em baixas concentrações para à direção nordeste.

Em relação aos valores de pressão atmosférica coletados no primeiro período de amostragem, observou-se variação entre 986,6 hPa a 1002,6 hPa com média de 992,34 hPa. Para Rodrigues (2016), pressões mais baixas estão associadas às temperaturas mais elevadas, enquanto que baixas pressões ocorrem em temperaturas menores.

Na Figura 19 estão apresentados os dados meteorológicos coletados no segundo período de amostragem (26 de setembro de 2019 e 14 de outubro de 2019), com a finalidade

de observar e comparar cenários de mudança de estação do ano e a influência no sentido dos ventos.

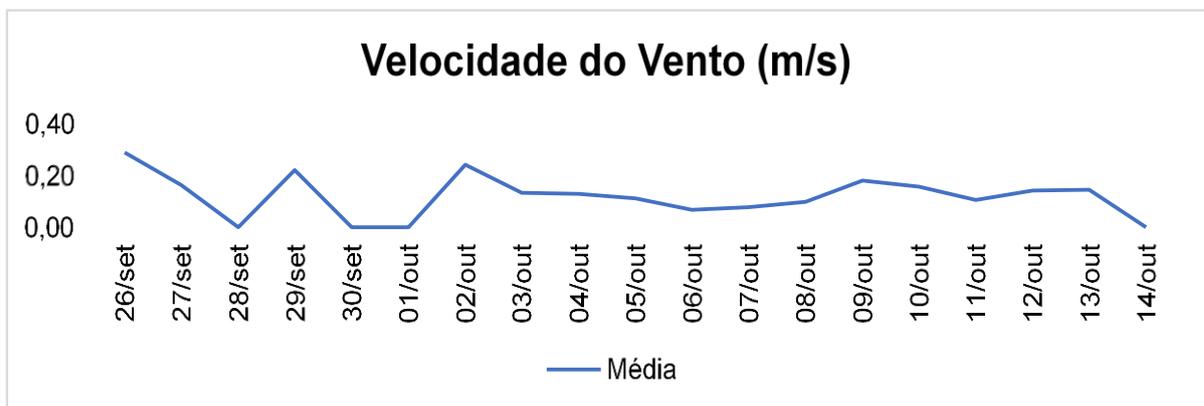
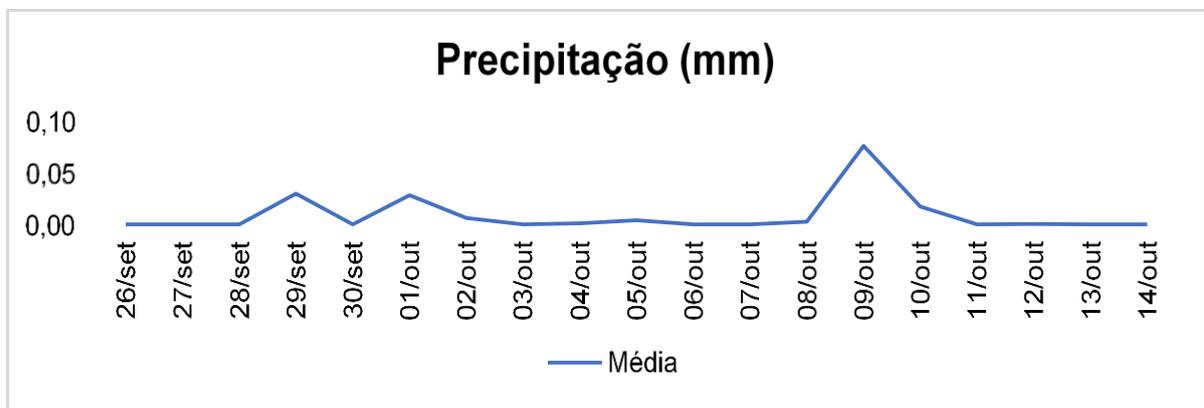
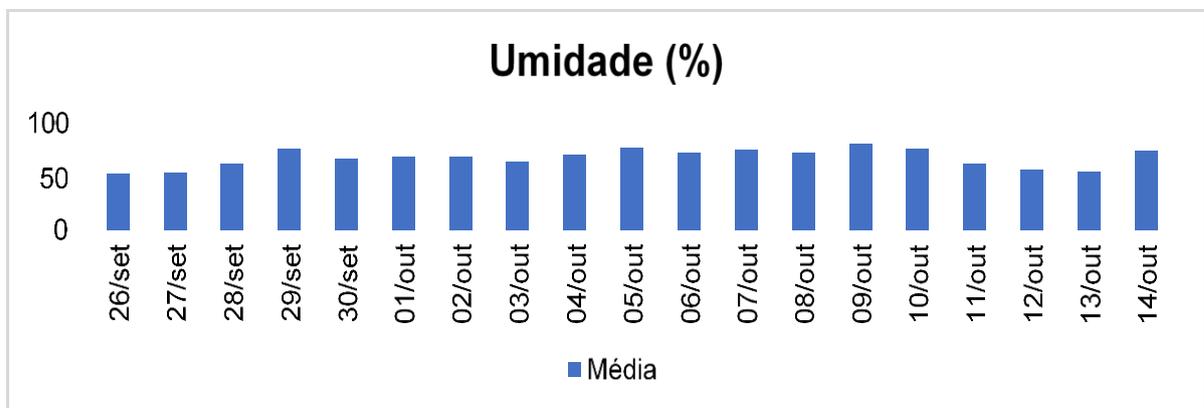
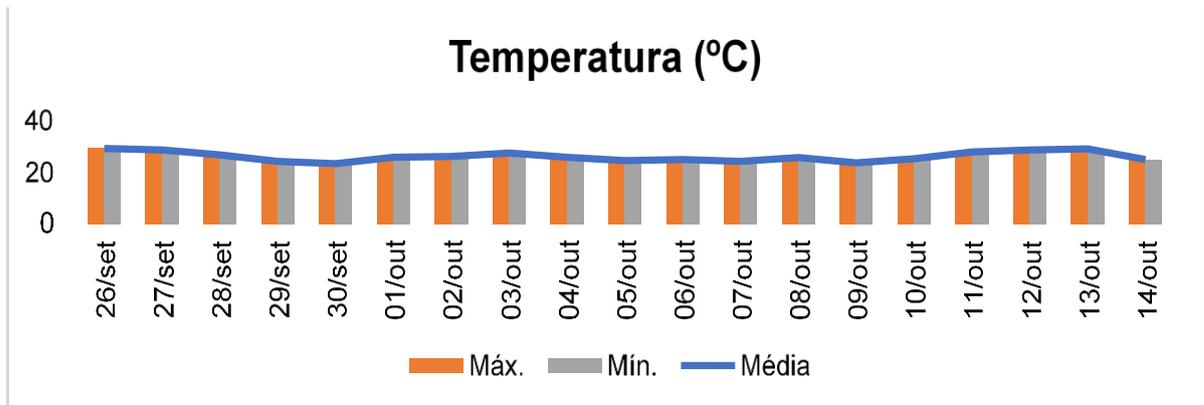


Figura 19. Dados meteorológicos da estação localizada na ETE Norte em Palmas – TO no segundo período de amostragem (A autora, 2020)

A estabilidade atmosférica, relacionada à menor ou maior propensão de movimentos verticais, significa que uma atmosfera mais estável possui menos movimentos verticais e maior ocorrência em atmosfera instável. Nesse caso, a poluição atmosférica por gases como o sulfeto de hidrogênio se encontrará mais concentrada em atmosfera mais estável, pela falta de movimentos verticais, ao passo que tais poluentes gasosos se dispersarão quando a atmosfera se apresentar instável (WALLACE e HOBBS, 2006).

Quanto aos dados meteorológicos coletados na ETE Norte em Palmas – TO no segundo período de amostragem, observa-se que não houveram eventos extremos de temperatura, com médias que variaram entre 23 e 29 °C, típicas da época do ano em que foram obtidas, na qual ocorrem dias quentes e noites mais frias. No que diz respeito à umidade do ar, percebe-se oscilação entre 54 e 83%, como reflexo da oscilação da temperatura e os eventos esporádicos de precipitação que ocorreram, mais significativamente, nos dias 29/09, 01/10, 09/10 e 10/10, com máxima de 0,08 mm.

Quanto a velocidade dos ventos, parâmetro essencial para conhecimento da dispersão dos gases na circunvizinhança, nota-se que o maior valor registrado foi de 0,2915 m s⁻¹ logo no primeiro dia de mensuração. Esse valor, de acordo com a escala de Beaufort (LINDAU, 1995), é classificado como “calmo” (≤ 1 m s⁻¹). Na Figura 20 observa-se na Rosa dos Ventos que houve predominância de velocidades de vento entre 0,5 e 2 m s⁻¹ e maior dispersão para o sentido Nordeste, com um percentual de 10,53% para ventos considerados calmos.

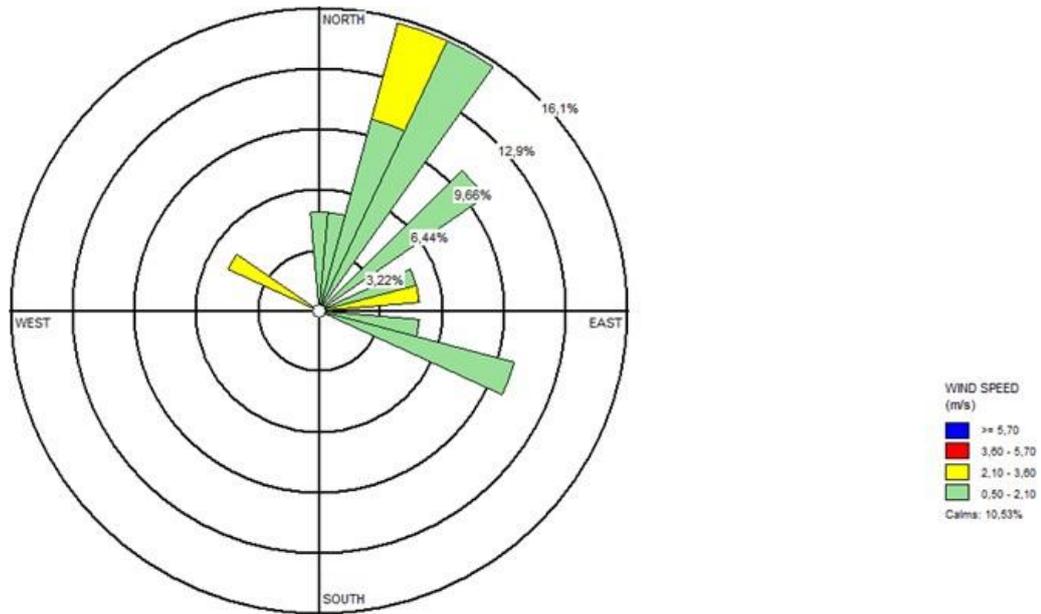


Figura 20. Direção do vento na região da ETE Norte em Palmas – TO no segundo período de amostragem (A autora, 2020)

Ao sobrepor a rosa dos ventos no mapa da região, como abaixo na Figura 21, percebe-se, de fato, que os ventos tem maior incidência para a área do condomínio Polinésia, principal fonte de reclamações quando aos odores emitidos.



Figura 21. Rosa dos Ventos com dados coletados no segundo período de amostragem sobreposta em imagem aérea da ETE Norte (A autora, 2020)

Se comparadas as sobreposições de rosa dos ventos no mapa da região, feitas com dados do primeiro período de amostragem meteorológica (janeiro a fevereiro de 2019) e do segundo período (setembro a outubro de 2019), apresentadas na Figura 22, é perceptível que a direção do vento permanece majoritariamente a mesma nas duas amostragens, no entanto, com ventos mais fortes no primeiro período, em relação ao segundo.



Figura 22. Comparativo do comportamento da direção dos ventos no primeiro (esquerda) e segundo (direita) períodos de amostragem (A autora, 2020)

Assim, podemos afirmar que durante todo período de monitoramento na ETE Norte, a direção do vento predominante foi a nordeste, ou seja, direcionado principalmente para a vizinhança do Condomínio Polinésia e Resort, onde nesse período pode ter influenciado na percepção do odor proveniente dos processos operacionais na ETE.

5.2. Análise dos Parâmetros Físico-Químicos

5.2.1. pH

O pH em efluentes líquidos indica o nível de acidez ou alcalinidade do meio. Conforme proposto pela Resolução CONAMA n.º 430 de 2011, efluentes domésticos brutos e tratados devem ter valores de pH entre 6 e 9 (BRASIL, 2011), para que haja o favorecimento da atividade biológica para degradação da matéria orgânica ao longo do tratamento (von SPERLING, 2014). Como observado na Figura 23, o pH do efluente de entrada e saída na ETE Norte variou entre 6 e 8, o que está de acordo com o sugerido pela resolução.

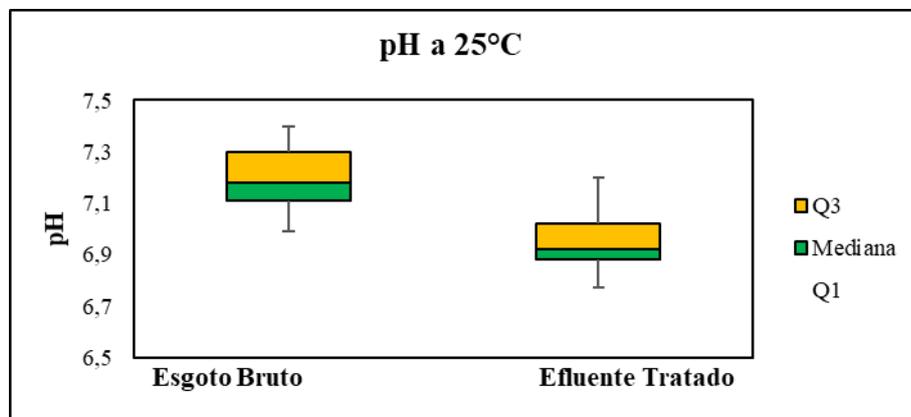


Figura 23. Valor de pH do esgoto bruto e efluente tratado – ETE Norte no período analisado (A autora, 2020)

No caso da ETE Norte, o tratamento secundário por meio de reator UASB requer que o pH obedeça a essas condições a fim de haver suficiente digestão de matéria orgânica e o controle da entrada desse material na etapa seguinte (lodo ativado com aeração prolongada), para assim evitar a sobrecarga do sistema.

5.2.2. Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Suspensos Totais e Sólidos Totais

Os valores dos parâmetros referentes aos sólidos sedimentáveis (SS), sólidos suspensos totais (SST) e sólidos totais (ST) estão diretamente ligados à concentração de matéria orgânica e demais resíduos (microrganismos, partículas de solo, etc.) tanto no efluente bruto como no tratado. A Figura 24 mostra os resultados das análises para esses parâmetros. Os SST interferem principalmente na turbidez do meio líquido, e o controle dessa variável no sistema se faz fundamental para o adequado lançamento e manutenção da turbidez em corpos hídricos. Conforme a Resolução CONAMA n.º 430 de 2011, deve haver remoção mínima de 20% de SST para efluentes lançados.

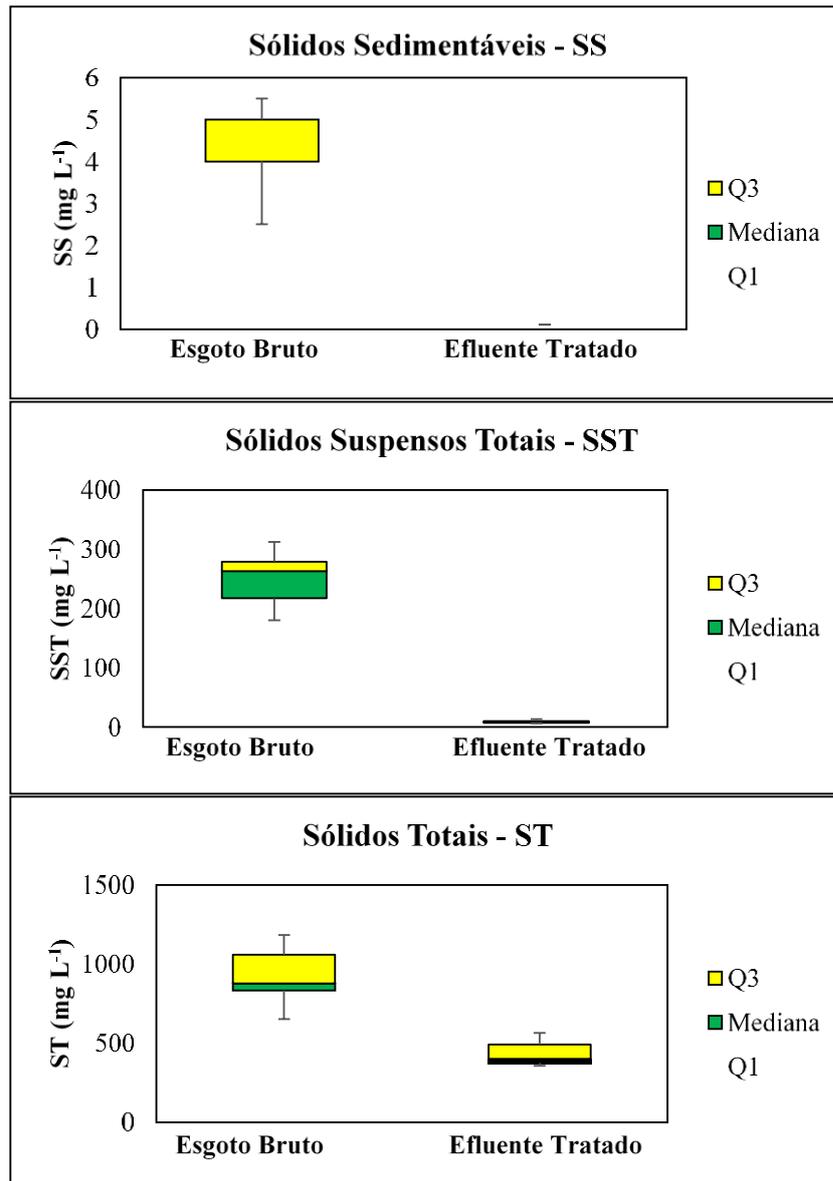


Figura 24. Sólidos sedimentáveis (SS), sólidos suspensos totais (SST) e sólidos totais (ST) do esgoto bruto e efluente tratado na ETE Norte (A autora, 2020)

5.2.3. Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO

O valor de DBO em amostras de efluente bruto indica o quanto de oxigênio é preciso para que os microrganismos possam fazer a deterioração biológica da matéria orgânica ao longo do processo de tratamento (von SPERLING, 2014). Como observado na Figuras 25, ao longo de um ano, a DBO nas amostras de efluente bruto na ETE Norte variaram entre 150 e 600 mg L⁻¹. Segundo a Resolução CONAMA n.º 430 de 2011, o tratamento empregado ao efluente deve ser hábil a remover pelo menos 60% da concentração de matéria orgânica (BRASIL, 2011). Assim, observou-se que houve alta eficiência no tratamento empregado na ETE Norte, que ultrapassou 95% de remoção de DBO.

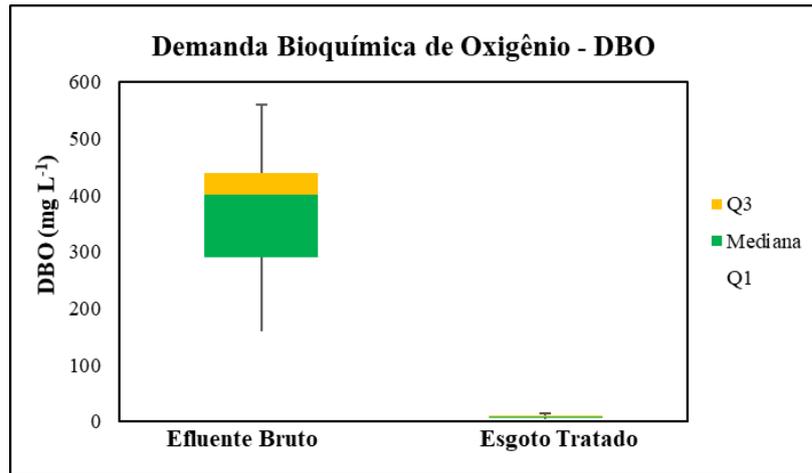


Figura 25. Demanda bioquímica de oxigênio do esgoto bruto e efluente tratado na ETE Norte (A autora, 2020)

5.2.4. Demanda Química de Oxigênio – DQO

Semelhante à ideia da DBO, a demanda química de oxigênio (DQO) indica quantidade de O₂ necessária para a oxidação da matéria orgânica presente no efluente bruto, por meio de um agente químico (von SPERLING, 2014). As vantagens da análise de DQO em detrimento à DBO é a indicação do oxigênio requerido para a estabilização da matéria orgânica por si, a rapidez e, o mais importante, a análise não é afetada pela nitrificação, ou seja, há indicação apenas da oxidação da matéria orgânica carbonácea e não da nitrogenada (CHERNICHARO, 1997). A Resolução CONAMA n.º 430 de 2011 não estabelece um valor de referência para DQO, no entanto, como observado na Figura 26, houveram reduções de até 90% na demanda química de oxigênio entre o efluente bruto e tratado, o que indica excelente remoção de matéria orgânica.

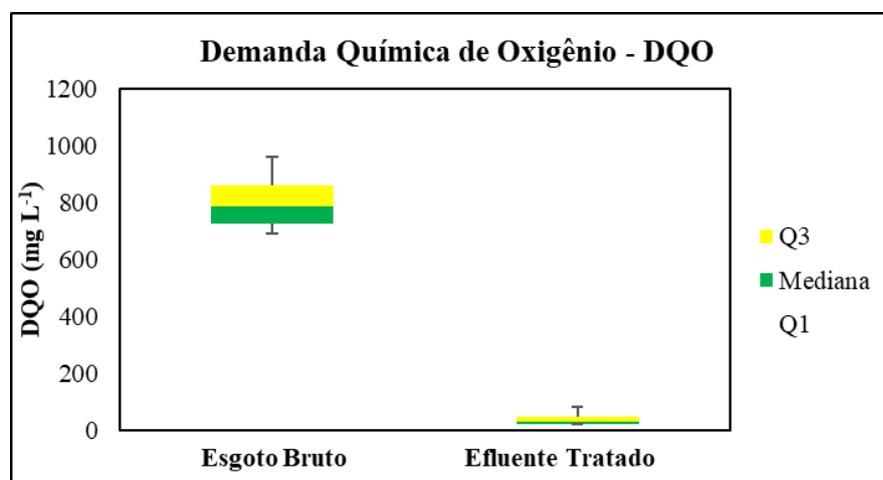


Figura 26. Demanda química de oxigênio no esgoto bruto e tratado na ETE Norte (A autora, 2020)

5.2.5. Nitrito, Nitrato e Nitrogênio Amoniacal

A concentração de nitrogênio amoniacal total é fator direto de influência na eficiência do tratamento por via biológica. A eficiência do tratamento secundário por meio de lodos ativados com aeração prolongada, empregado na ETE Norte, está diretamente ligada ao controle destes parâmetros ainda na etapa primária (reator UASB), ao passo que a quantidade de lodo fornecida ao sistema sob constante aeração pode aumentar drasticamente a concentração de nitrito e nitrato. A seguir, na Figura 27, ao longo de um ano, puderam ser observados alguns picos de formação de nitrito e nitrato, possivelmente em decorrência da entrada de excesso de lodo na etapa secundária.

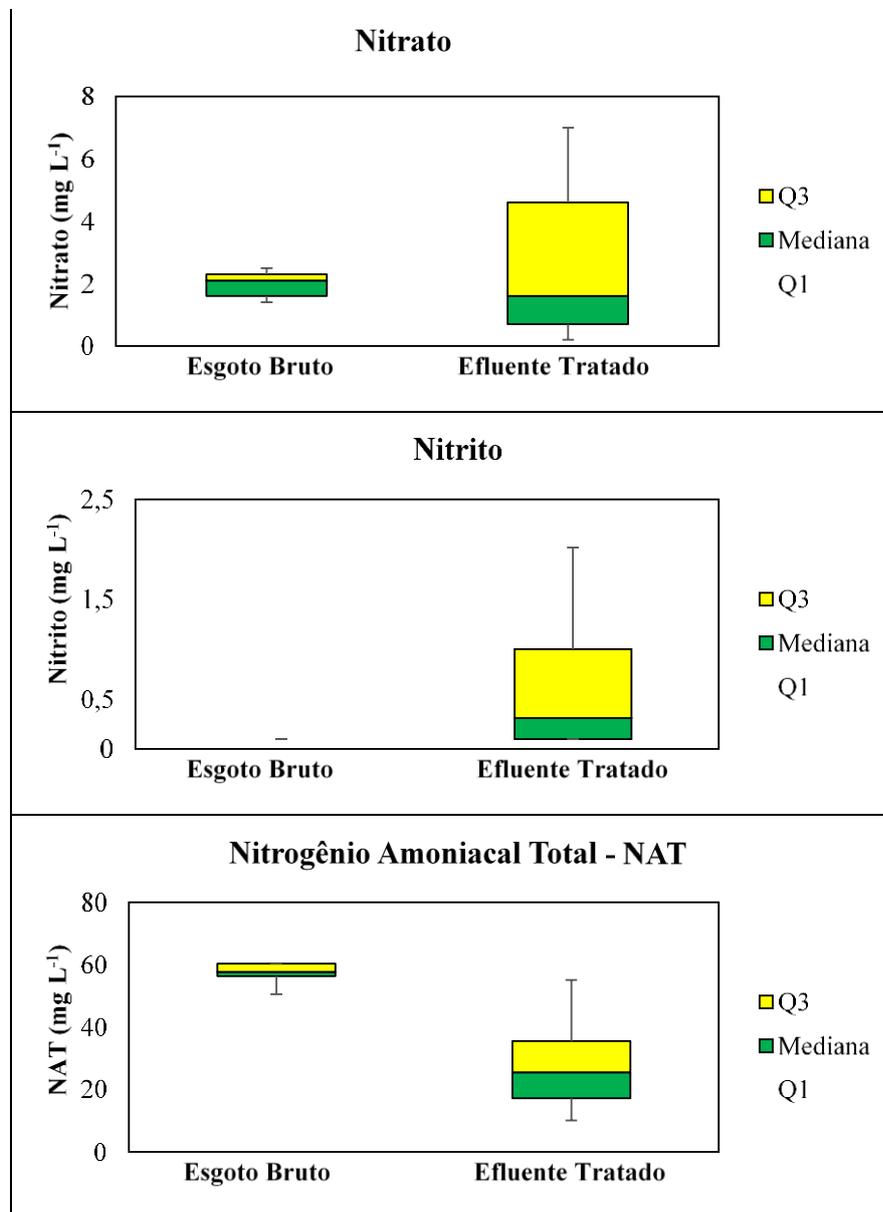


Figura 27. Concentrações de nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal no esgoto bruto e tratado na ETE Norte (A autora, 2020)

5.2.6. Sulfeto e Sulfato

A coleta de amostras para a análise das concentrações de sulfeto e sulfato levou em consideração os seguintes fatores:

- Número de amostragens (8 amostragens em 20 dias);
- Locais de coleta (tratamento preliminar, gradeamento, calha Parshall, reator UASB 01 e reator UASB 02);
- Pontos de coleta (entrada e saída);

As concentrações de ambos compostos foram analisadas, em relação aos fatores mencionados, por meio de estatística descritiva, análise de variância ANOVA e Teste Tukey, ambos últimos ao nível de 5% de probabilidade. No caso da calha Parshall, as coletas foram feitas em ponto único. Na Figura 28 estão apresentadas as concentrações de sulfato ao longo da ETE.

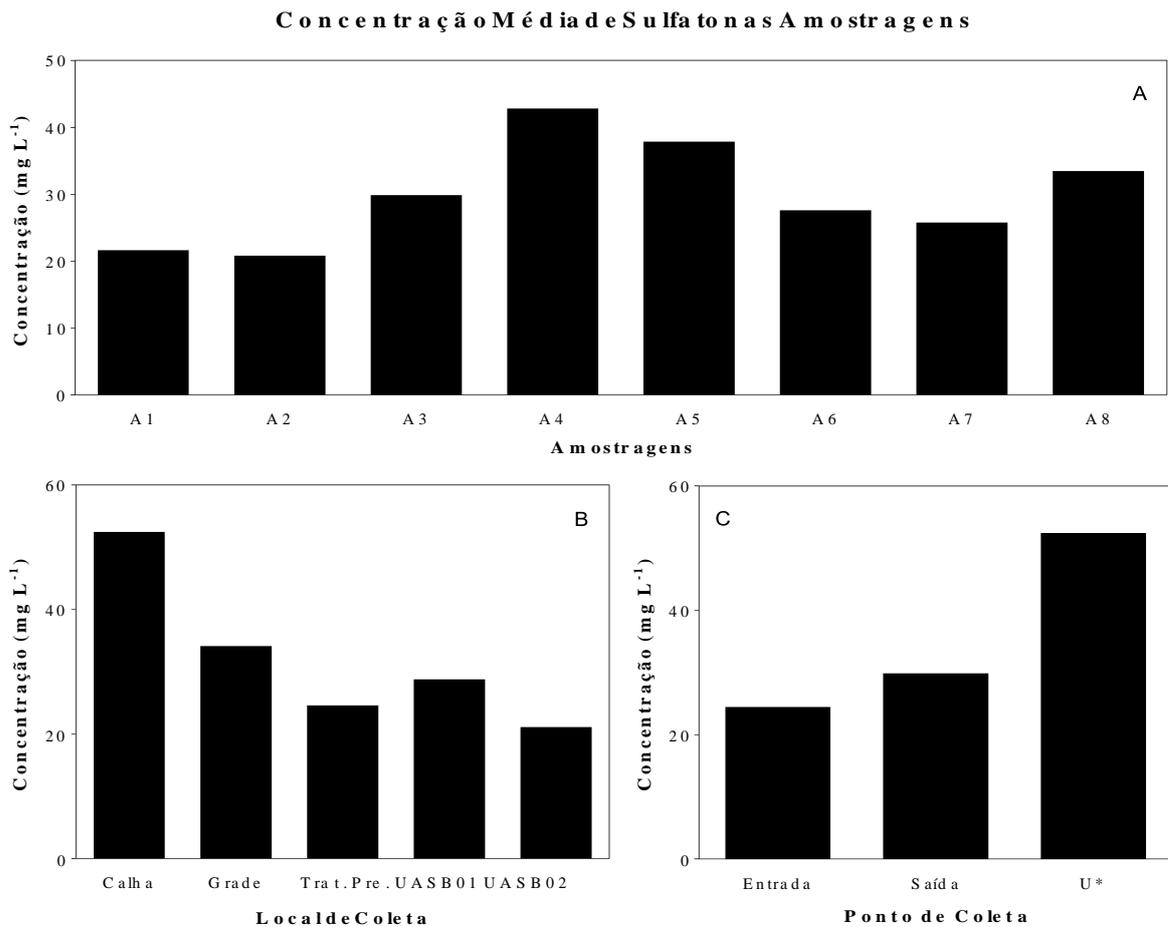


Figura 28. Concentrações médias de sulfato em relação às amostragens, locais de coleta e pontos de coleta. “U*” corresponde ao ponto único da amostragem feita na calha Parshall (A autora, 2020)

Observou-se que as concentrações de sulfato variaram entre 0,5 e 113,1 mg L⁻¹ ao longo do raio de amostragem dentro da ETE, com concentração média geral de 29,98 mg L⁻¹. Segundo a *World Environment Federation* – WEF (1995), a concentração de sulfato em efluentes domésticos pode variar entre 30 e 250 mg L⁻¹. No Brasil, apesar de não haver um valor específico para sulfato em legislação à nível nacional, foi estabelecido pelo o estado de São Paulo, por meio da Lei nº 9477 de 1996 (SÃO PAULO, 1996), que a concentração de sulfato em efluentes domésticos deve ser no máximo 1000 mg L⁻¹.

Como observado na Figura 28(A), as maiores concentrações médias de sulfato foram encontradas na quarta, quinta e oitava amostragens, representadas pelas siglas A4, A5 e A8, e o espaço temporal entre a menor e maior concentração de sulfato ao longo das amostragens foi de 5 dias.

Como as concentrações médias ilustradas da Figura 28(A) correspondem a todo o raio amostral dentro da ETE, as variações observadas podem estar relacionadas, segundo Chernicharo e Stuetz (2008), a uma série de fatores como a sequência da planta de tratamento, o contato inicial dos microrganismos decompositores anaeróbicos com altas cargas de matéria orgânica, condições climáticas, critérios de coleta, etc.

Na Figura 28(B), observou-se uma queda sequencial de concentração conforme se progredia o tratamento. No entanto, um considerável aumento pode ser notado no reator UASB 01, se comparado ao tratamento preliminar e ao último reator (UASB 02). Segundo Souza (2006), tal variação é recorrente e geralmente está relacionada a um eventual desequilíbrio entre a carga orgânica e a intensidade da atividade microbiana, ao considerar que é nos reatores que, de fato, inicia-se a degradação efetiva desses materiais.

Na Figura 28(C) também é possível notar que a concentração de sulfato foi consideravelmente maior na calha Parshall (52,48 mg L⁻¹, representado por U*), o que condiz com o observado na Figura 28(B), já que a maior concentração observada foi no local em questão e também por se tratar de efluente ainda *in natura*.

Contudo, percebe-se que a concentração média de saída foi consideravelmente maior que a de entrada (29,88 mg L⁻¹ e 24,45 mg L⁻¹, respectivamente). Segundo Glória (2009), não é algo desejável, mas é recorrente, pois o controle da atividade microbiana, nesse caso, pode ser bastante complexo e, assim, diminuir a eficiência de decomposição.

No âmbito estatístico, a análise de variância ANOVA indicou que somente a variância de concentrações de sulfato referente ao fator de local de coleta foi significativa, como mostra a Tabela 3. Dado o processo de tratamento, o reflexo desse fator nas concentrações de sulfato já era esperado.

Tabela 3 – Análise da influência dos fatores de amostragem na concentração de sulfato

Fonte de Variação	DF	SQ	QM	Valor F	p-Valor
Número de Amostragens	7	3741	534,5	1,95	0,0776
Local de Coleta	4	6067	1516,8	5,53	<0,001
Ponto de Coleta	1	472	472,4	1,72	0,1943
Residual	59	16175	274,1		

Por outro lado, quando comparadas as concentrações médias por meio do Teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade, tanto o fator local de coleta como o ponto de coleta apresentaram diferenças estatísticas (Tabela 4). Observa-se que as concentrações de sulfato vão diminuindo ao longo do processo de tratamento da ETE, com valores maiores nas etapas iniciais (esgoto bruto) e menores nos reatores UASB, conforme visto na Figura 28(B).

Tabela 4 – Comparação das concentrações médias em relação aos fatores de amostragem

Teste Tukey a 5%					
A4	42,82 ^a	Calha	52,47 ^a	U*	52,48 ^a
A5	37,86 ^a	Gradeamento	34,14 ^{ab}	Saída	29,89 ^b
A8	33,46 ^a	Reator UASB 01	28,82 ^b	Entrada	24,45 ^b
A3	29,87 ^a	Tratamento Preliminar	24,59 ^b		
A6	27,60 ^a	Reator UASB 02	21,12 ^b		
A7	25,75 ^a				
A1	21,65 ^a				
A2	20,83 ^a				

Nota: “U*” significa ponto de coleta único na calha Parshall. Médias do mesmo fator acompanhadas de letras distintas indicam diferença estatística a 5%.

Referente as concentrações de sulfeto, observou-se variação de concentração entre 0,002 e 28,7 mg L⁻¹ ao longo do raio de amostragem dentro da ETE, com média geral de 5,47 mg L⁻¹. A legislação brasileira sobre a qualidade final de efluentes, materializada na Resolução CONAMA n.º 430 de 2011 (BRASIL, 2011), determina que a concentração de sulfeto para lançamento em corpos hídricos deve ser na ordem máxima de 1,0 mg L⁻¹.

Elevadas concentrações de sulfeto em efluentes domésticos são a principal causa da emissão de odores durante o tratamento. Existe diversas técnicas aplicáveis tanto para a não formação do odor como para contenção e, dentre as mais recorrentes, está o controle da concentração de oxigênio dissolvido, pH e temperatura dentro dos reatores ou lagoas. Com isso, recomenda-se valores entre 0,5 e 1 mg L⁻¹ para oxigênio dissolvido, pH entre 6 e 8 e temperatura entre 30 e 35 °C. Na Figura 29 estão apresentadas as médias de concentração de sulfeto em relação aos fatores avaliados e mencionados anteriormente.

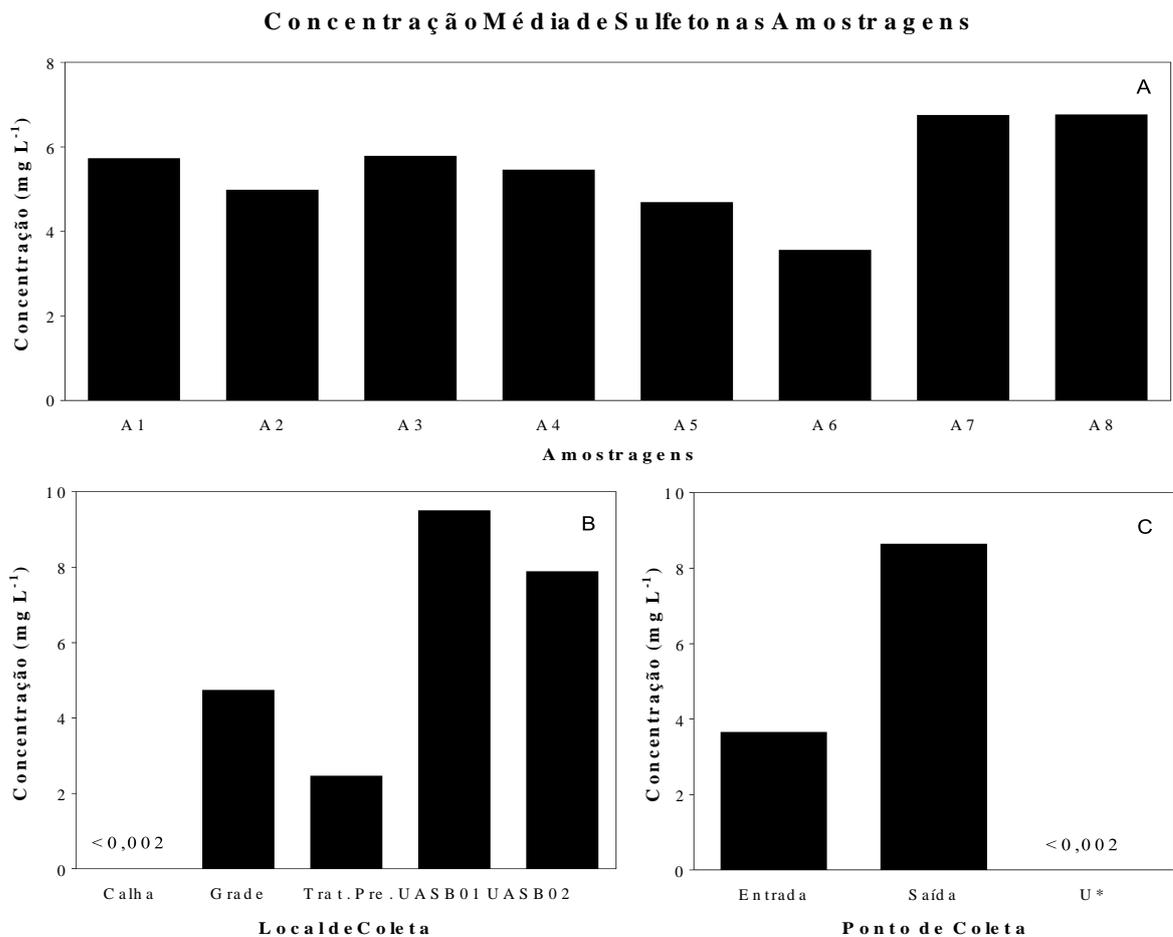


Figura 29. Concentrações médias de sulfeto em relação às amostragens, locais de coleta e pontos de coleta. “U*” corresponde ao ponto único da amostragem feita na calha Parshall (A autora, 2020)

Como observado na Figura 29(A), as maiores concentrações médias de sulfeto foram encontradas na sétima e oitava amostragem, representadas pelas siglas A7 e A8, e o espaço temporal entre a menor e maior concentração de sulfeto também foi de 5 dias. É possível observar que os valores estiveram bem próximos ao longo das amostragens, com considerável queda no antepenúltimo dia e quase o dobro de aumento nos últimos dois dias.

Na Figura 29(B), observa-se que a concentração de sulfeto foi quase nula ainda na passagem pela calha Parshall e aumentou expressivamente conforme progredia-se o tratamento. As maiores concentrações médias podem ser percebidas nos reatores, situação esperada em vista à intensa atividade microbiana que degrada o sulfato em sulfeto (CHERNICHARO et al., 2010). No entanto, nota-se ainda que mesmo após passagem por dois reatores UASB a concentração média de sulfeto encontrava-se bastante acima do recomendado pela legislação, situação essa que agrava os problemas de emissão caso não haja o controle das variantes mencionadas anteriormente.

Na Figura 30(C) notou-se que a concentração média de sulfeto foi consideravelmente maior nos pontos de saída de cada parte do tratamento (8,65 mg L⁻¹), se comparado aos valores de entrada, excluída a calha. Tal situação condiz com o observado na Figura 29(B), já que as maiores concentrações foram observadas na saída dos reatores UASB.

Em termos estatísticos, a análise de variância ANOVA indicou que as variações na concentração de sulfeto referente aos fatores (i) local de coleta e (ii) pontos de coleta foram significativas, como mostra a Tabela 5. Assim como o ocorreu com o sulfato, dado tanto o processo de tratamento como as altas concentrações de sulfeto, mesmo após tratamento, o reflexo desses fatores nessa última variável-resposta também já era esperado, porém não desejado.

Tabela 5 – Análise da influência dos fatores de amostragem na concentração de sulfeto

Fonte de Variação	DF	SQ	QM	Valor F	p-Valor
Número de Amostragens	7	71,6	10,2	0,393	0,9025
Local de Coleta	4	745,7	186,4	7,176	<0,001
Ponto de Coleta	1	397,9	397,9	15,32	<0,001
Residual	59	1532,8	26,0		

Como o observado nas concentrações médias de sulfato, em relação aos fatores de amostragem, as concentrações médias de sulfeto, quando comparadas por meio do Teste Tukey, também a 5%, apresentaram diferenças estatísticas quanto aos mesmos fatores (Tabela 6).

Tabela 6 – Comparação das concentrações médias em relação aos fatores de amostragem

Teste Tukey a 5%					
A8	6,76 ^a	Reator UASB 01	9,50 ^a	Saída	8,65 ^a
A7	6,75 ^a	Reator UASB 02	7,89 ^a	Entrada	3,66 ^b
A3	5,79 ^a	Gradeamento	4,75 ^{ab}	U*	0,002 ^b
A1	5,73 ^a	Tratamento Preliminar	2,47 ^b		
A4	5,46 ^a	Calha	0,002 ^b		
A2	4,98 ^a				
A5	4,69 ^a				
A6	3,57 ^a				

Nota: “U*” significa ponto de coleta único na calha Parshall. Médias do mesmo fator acompanhadas de letras distintas indicam diferença estatística a 5%.

5.3. Identificação dos Pontos de Odor

Na etapa de identificação dos pontos de odor, buscou-se representar a emissão dos gases quantitativamente ao usar como indicador o sulfeto de hidrogênio (H_2S) e, para isso, utilizou-se um medidor de gás portátil para obtenção de resultados rápidos e precisos. Essa etapa transcorreu entre dois períodos: fevereiro a abril e setembro a outubro de 2019. Ao comparar as concentrações de H_2S no ar, pode-se observar que dentre os onze pontos monitorados durante os dias da coleta, seis pontos apresentaram, em algum momento, concentração de sulfeto de hidrogênio superior a concentração permitida pela Resolução CONAMA n.º 491 de 2018 (BRASIL, 2018), como mostra a Tabela 7.

Tabela 7 – Pontos que apresentaram concentração de H_2S no ar

Local	Coordenada
<i>Gradeamento</i>	S 10° 9' 00'' W 40° 21' 34,2''
<i>Tratamento Preliminar</i>	S 10° 8' 47,7'' W 48° 21' 26,8''
<i>UASB 1 (Entrada)</i>	S 10° 8' 49,4'' W 48° 21' 29,1''
<i>UASB 1 (Saída)</i>	S 10° 8' 47,7'' W 48° 21' 29,2''
<i>UASB 2 (Entrada)</i>	S 10° 8' 48'' W 48° 21' 30''
<i>UASB 2 (Saída)</i>	S 10° 8' 45,9'' W 48° 21' 30,5''

A NR – 15 estabelece que, para uma melhor avaliação das concentrações dos agentes químicos por meio de métodos de amostragem instantânea, com leitura direta ou não, deve-se realizar no mínimo de 10 amostragens para cada ponto, em intervalos mínimos de 20 minutos (BRASIL, 2015). No total, foram realizadas 42 amostragens para cada período (matutino e vespertino) nas épocas mencionadas anteriormente.

Devido ao difícil acesso à ETE, não foi viável a realização de coletas noturnas. Na Tabela 8, pode-se observar que, das 42 coletas realizadas no período matutino para primeira época, apenas 10 estiveram abaixo do valor máximo considerado aceitável para seres humanos, que é 8 ppm ao dia (BRASIL, 2015), contra 40 da segunda época. No decorrer das atividades em campo, notou-se que, nas proximidades dos reatores UASB, o teor de H_2S ficou mais evidente olfativamente, confirmado pelo detector multigás *Alert Max XT II*.

Tabela 8 - Concentração de H₂S no período matutino (ppm)

Época	Data	Hora	Grade	Trat. Prel.	UASB 1*	UASB 1**	UASB 2*	UASB 2**
1	05/02	09:00	11	3	12	8	12	18
	11/02	11:00	14	7	28	15	10	21
	14/02	09:30	13	0	4	9	12	21
	17/02	10:00	32	10	15	22	38	22
	19/02	12:00	3	6	14	12	16	7
	10/04	08:30	45	15	22	25	64	0
	12/04	11:30	25	4	7	42	87	8
2	30/09	10:00	0	0	3	8	8	0
	01/10	08:30	3	6	8	0	4	5
	02/10	08:00	0	0	6	10	7	8
	03/10	09:30	0	8	8	2	5	0
	04/10	11:00	0	3	0	3	0	11
	05/10	10:00	5	3	0	4	4	3
	06/10	09:00	0	0	3	4	0	5

* Entrada. ** Saída.

Observou-se diferentes concentrações do gás H₂S em relação aos períodos monitorados, aos horários de coleta e também em relação às épocas. Isso pode ser explicado pela ocorrência de variáveis externas alheias ao trabalho como, por exemplo, alguns dias de coleta aconteceram após a ocorrência de chuva ou em dias nublados que dificultam a dispersão do odor (LORA, 2002). Na primeira época, obteve-se concentrações de até 87 ppm, valor dado como muito alto (Tabela 9) pela Norma Regulamentadora 15 – Atividades e Operações Insalubres (MAINIER, 2005; BRASIL, 2015). Na segunda época, nota-se que as concentrações estiveram bem mais brandas. Atribui-se esse fato, principalmente, às iniciativas tomadas pela empresa para reparar os danos físicos na estrutura da ETE que permitiam o vazamento do gás.

Tabela 9 - Efeito do Sulfeto de Hidrogênio em seres humanos

Concentração (ppm)	Tempo de Exposição	Efeito nos Seres Humanos
0,05 – 5	1 min	Deteção do odor característico.
10 – 30	6 – 8 h	Irritação dos olhos.
50 – 100	30 min – 1 h	Conjuntivite, dificuldades de respiração.
150 – 200	2 – 15 min	Perda de olfato.
250 – 350	2 – 15 min	Irritação dos olhos.
350 – 450	2 – 15 min	Inconsciência, convulsão.
500 – 600	2 – 15 min	Distúrbios respiratórios e circulatórios.

700 – 1500

0 – 2 min

Colapso, morte.

Fonte: Mainier (2005)

A Tabela 10 mostra as coletas realizadas no período vespertino, nas diferentes épocas. Nota-se que, dos 6 locais amostrados, os reatores UASB foram novamente os que apresentaram maiores concentrações de H₂S na primeira época.

Tabela 10 – Concentração de H₂S no período vespertino (ppm)

Época	Data	Hora	Grade	Trat. Prel.	UASB 1*	UASB 1**	UASB 2*	UASB 2**
1	05/02	15:00	4	0	12	8	10	11
	11/02	17:30	12	6	14	12	16	18
	14/02	14:00	0	10	12	10	16	10
	17/02	16:00	32	8	18	22	27	22
	19/02	17:00	0	10	0	34	57	28
	10/04	15:30	8	3	16	22	34	56
	12/04	14:30	4	12	0	77	0	35
2	30/09	15:00	0	0	3	8	0	0
	01/10	17:30	3	2	9	0	3	5
	02/10	14:00	0	0	3	3	0	1
	03/10	16:00	0	5	3	2	3	2
	04/10	17:00	2	5	4	0	3	5
	05/10	15:30	0	0	0	3	3	3
	06/10	14:30	2	0	3	0	0	0

* Entrada. ** Saída.

Observou-se também que, no período da tarde, a concentração de H₂S na atmosfera foi menor se comparada ao período matutino, pois está atrelada ao aumento da temperatura e também da velocidade da reação entre os compostos gasosos que favorecem a formação de sulfetos e, conseqüentemente, o gás sulfídrico (CHERNICHARO et al., 2010). Na Figura 30, fissuras existentes nos UASB servem de meio de passagem do gás e revelam que a ETE necessita de controle dos vazamentos nas instalações prediais, que podem ser verificados por meio de monitoramento da pressão no reator e das concentrações de metano e gás sulfídrico em pontos estratégicos.



Figura 30. Possíveis pontos de liberação de gás sulfídrico (A autora, 2020)

5.4. Análise dos Dados das Entrevistas

Na visão de Gil (2008), a aplicação de questionários é um método investigativo no qual é possível obter a opinião de um determinado grupo de pessoas por meio de respostas a questões apresentadas por escrito. Neste sentido, o questionário foi aplicado como ferramenta de coleta de dados dos moradores residentes na área de influência direta, o que possibilitou entender a visão deles frente à fonte geradora de odor naquela região. Dos 50 questionários aplicados no entorno da ETE Norte, 27 respondentes afirmaram sentir ou já ter sentido mau cheiro no entorno de suas residências, como pode ser identificado na Figura 31.



Figura 31. Pontos de aplicação que afirmaram já ter sentido odor (A autora, 2020)

5.4.1. Critérios Socioeconômicos dos Entrevistados

Na Figura 32 estão apresentadas informações sobre sexo e escolaridade dos entrevistados. Do total, 56% dos respondentes foram mulheres e 44% homens. Os dados de escolaridade mostraram que 6% dos moradores não possuem nenhum tipo de instrução, 14% possuem o ensino fundamental e 20% possuem o ensino médio. Enquanto outra parcela dos respondentes, 14% possuem o ensino superior incompleto e 42% possuem ensino superior ou algum tipo de pós-graduação.

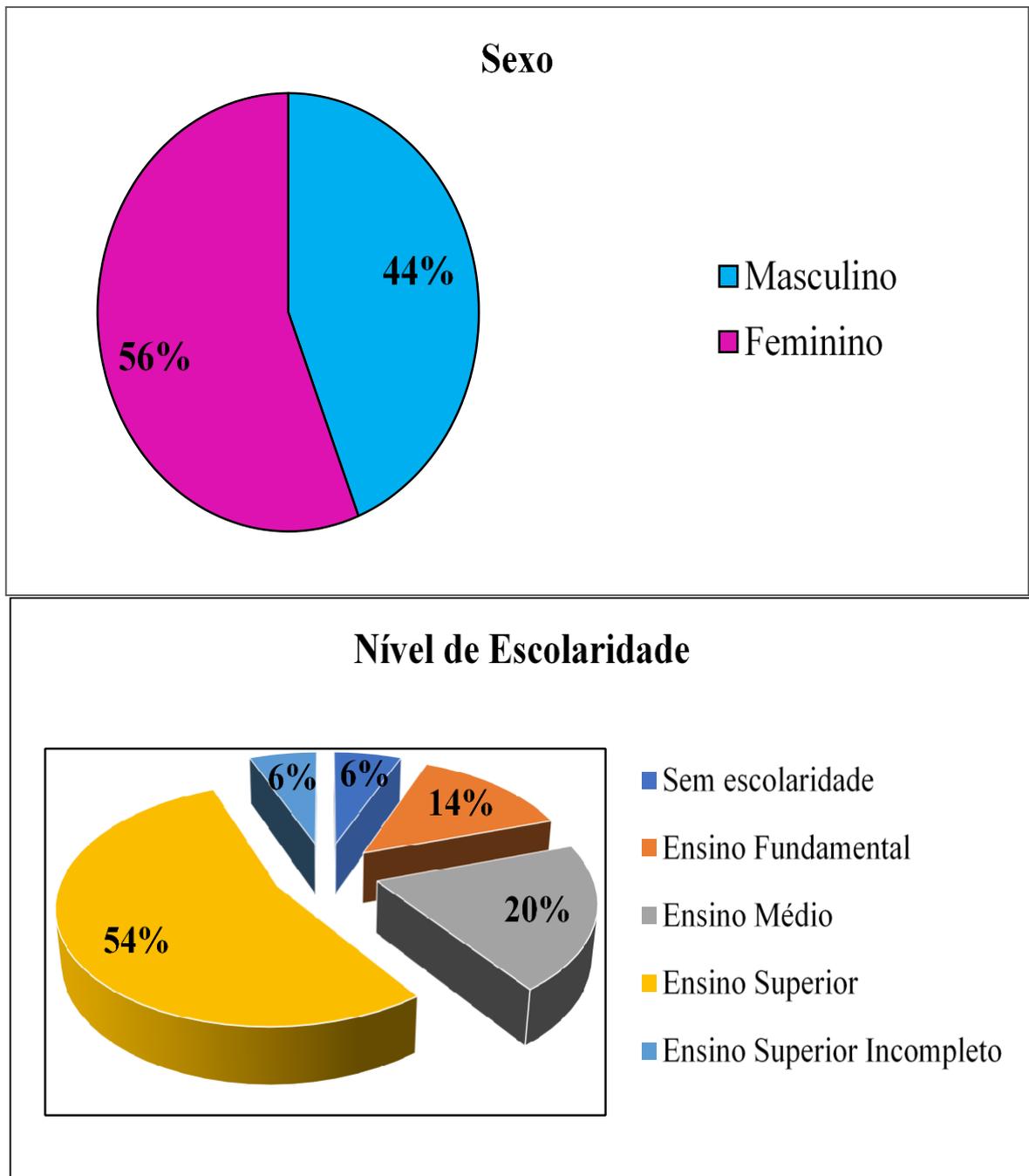


Figura 32. Critérios socioeconômicos dos entrevistados (A autora, 2020)

5.4.2. Informações sobre o Odor

Na Figura 33 encontram-se os dados referentes a percepção, periodicidade, intensidade, duração e frequência do odor nas residências e respectivas dependências externas. Observa-se na Figura 33(A) que 46% das pessoas disseram não sentir nenhum odor, enquanto que 54% afirmaram sentir ou já haver sentido algum mau cheiro dentro, com relatos de casos extremos nos quais foi necessário fechar as portas e janelas na tentativa de evita-lo.

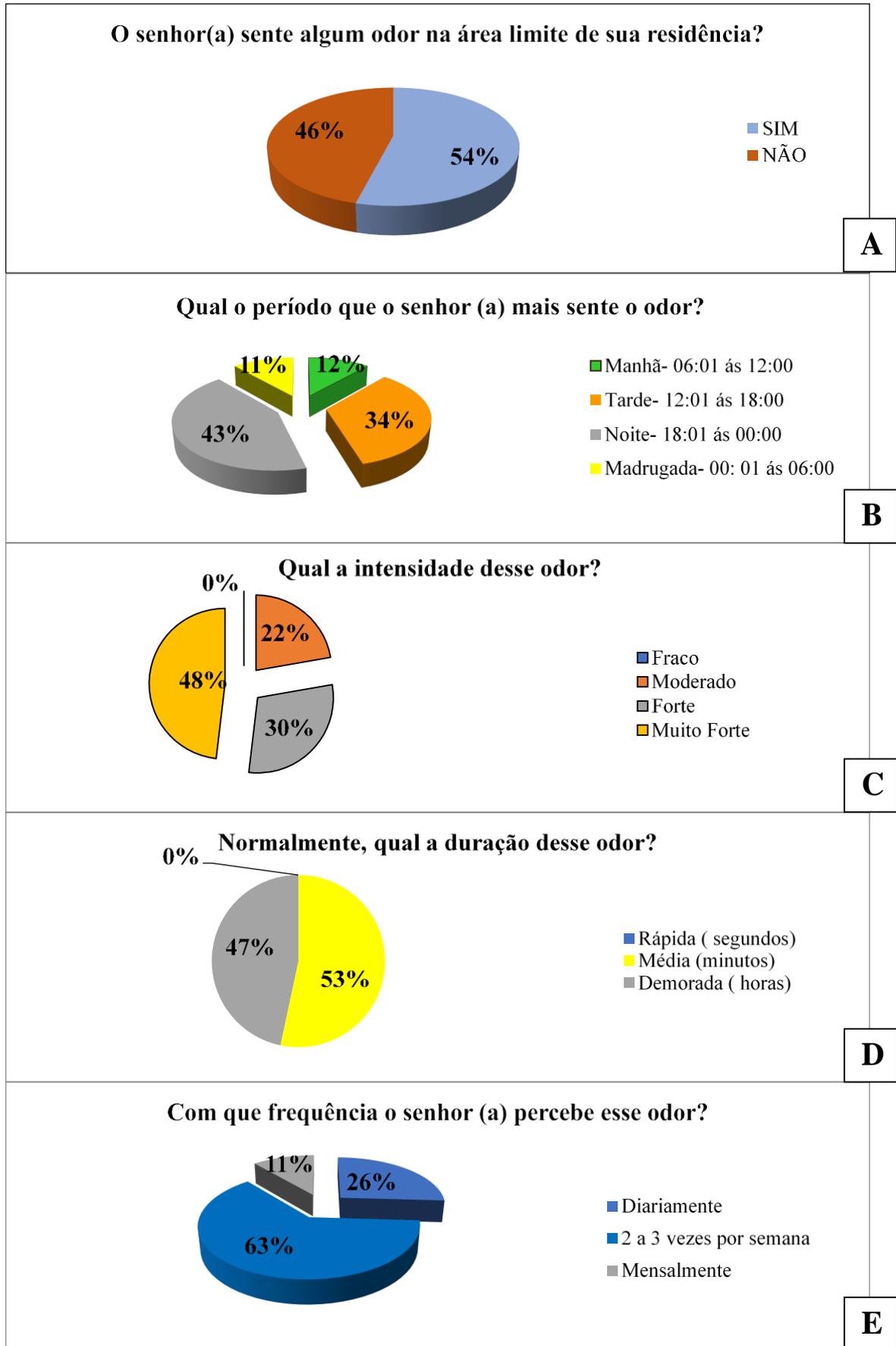


Figura 33. Informações dos entrevistados sobre o odor (A autora, 2020)

Quando questionados em qual período do dia esse odor se faz mais presente, indicado na Figura 33(B), observa-se que 12% dos moradores disseram sentir o odor com mais frequência pela manhã, 34% disseram ser na parte da tarde principalmente no final do dia, 43% afirmaram ser no período da noite e 11% dos respondentes disseram já ter sentido o mau cheiro de madrugada. Porém, alguns moradores revelaram que algumas vezes o odor se faz presente mais de uma vez ao dia. Ao perguntar sobre a intensidade do odor, considerando 1 como fraco e 4 muito forte, 48% das respostas consideraram o odor como muito forte, 30% percebem um odor forte e 22% diz ser um odor moderado, como pode-se ver na Figura 33(C).

Quando questionados sobre o tempo de permanência do odor no ambiente, ilustrado na Figura 33(D), percebe-se que 53% dos moradores indicam durar cerca de alguns minutos, porém em alguns casos o odor vai e volta em pouco espaço de tempo. Todavia, 47% dos entrevistados afirmaram que o mau cheiro se prolonga por horas. Quanto à frequência do odor, visto na Figura 33(E), 63% dos moradores disseram sentir o odor de 2 a 3 vezes por semana, 26% disseram sentir o odor diariamente e uma parcela de 11% revelaram que a frequência oscila bastante e que ocorre mais de 3 vezes em uma única semana.

Nesta etapa do questionário foi possível perceber que as respostas referentes à frequência do odor e a duração do mesmo variaram de acordo com a proximidade da residência do respondente à provável fonte geradora, além da influência das condições meteorológicas do dia (STERN et al., 1994), principalmente pela direção do vento majoritariamente voltada para o Nordeste da região em estudo.

Quanto a sensibilidade do odor em intervalos de tempo curtos ou a curtas distâncias, fica-se a critério da olfatométrica de cada pessoa em particular. No geral, segundo Belli Filho e Lisboa (1998), a dispersão de gases poluentes na atmosfera fica condicionada à temperatura do ar e à velocidade do vento no momento, visto que há circulações de ar em diferentes escalas espaciais (tamanho) e temporais (tempo de duração), capazes de interagir entre si.

5.4.3. Impactos na Vida Pessoal

Os resultados obtidos nas questões dessa seção demonstraram haver impactos do odor na saúde dos moradores, conforme pode ser observado na Figura 34. Quando perguntados se haviam sentido algum sintoma ou desconforto devido à presença do odor, como pode ser visto na Figura 34(A), 85% afirmaram que sentem ou já sentiram em determinado momento um mal estar ou desconforto no momento do mau cheiro, ou outros 15% disseram não ter sentido nada até o momento que tenha sido associado ao odor.

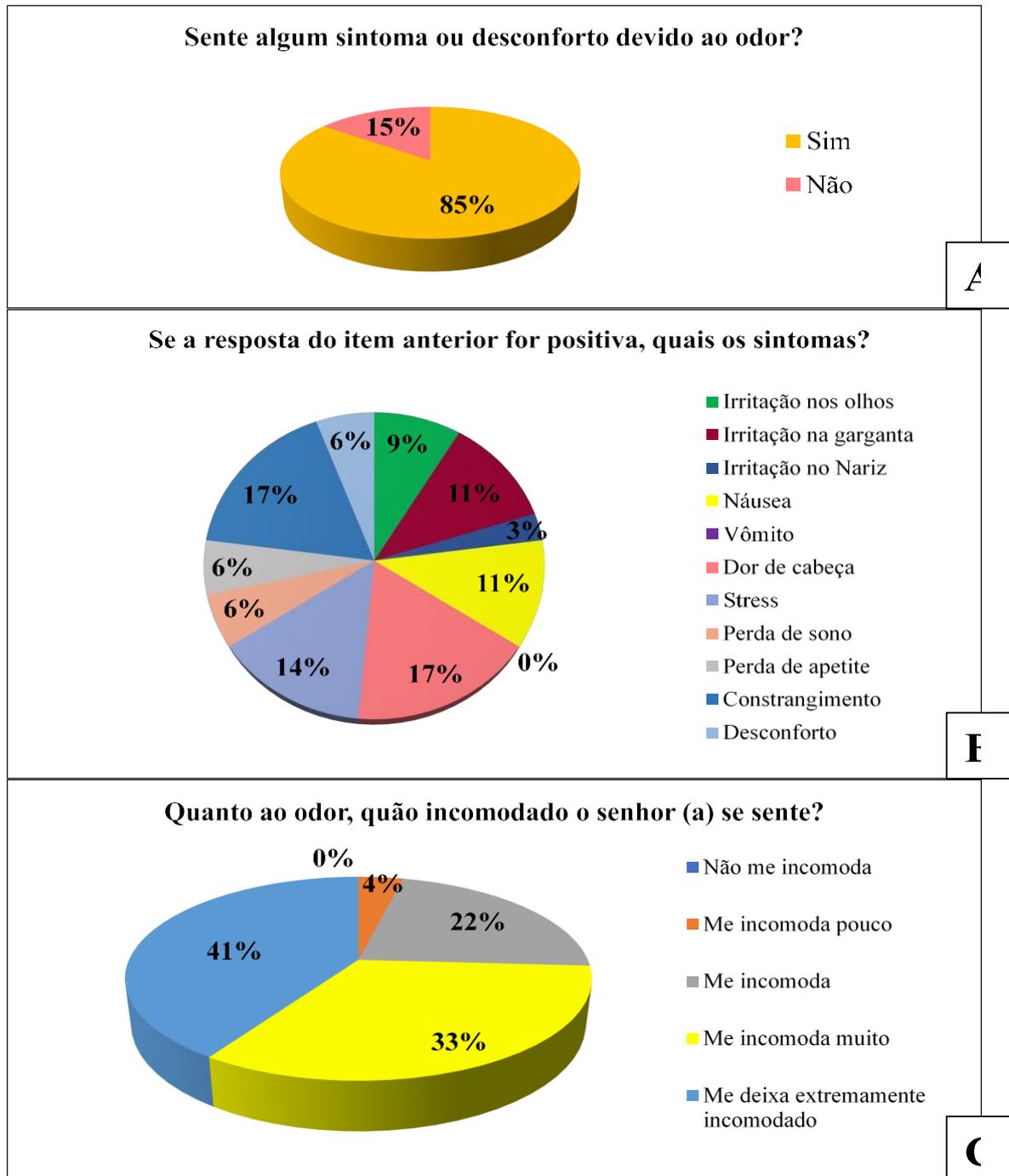


Figura 34. Informações dos entrevistados sobre os impactos dos odores (A autora, 2020)

Ao serem questionados sobre quais eram os principais sintomas ou desconfortos percebidos, ilustrado na Figura 34(B), dentre as opções fornecidas pelo aplicador, 17% afirmaram já terem sentido dor de cabeça e constrangimento, 14% disseram terem episódios de estresse, 22% afirmaram terem sentido náusea e irritação na garganta, 9% já sentiram irritação nos olhos, 6% tiveram perda de apetite, perda de sono e desconforto e 3% já sentiram irritação no nariz.

Em relação ao nível de incômodo entre os entrevistados, 22% afirmaram que o odor incomoda, 33% afirmaram que o odor incomoda muito, 41% disseram que ficam extremamente incomodados e apenas 4% afirmaram que o odor incomoda pouco, como visto na Figura 34(C). O impacto do odor no cotidiano dos moradores pode ser visto como uma resposta muito pessoal, haja vista que a sensibilidade do olfato humano pode variar, principalmente em baixas concentrações de gás poluente. Nesta etapa, percebe-se que o percentual de incômodo é alto e as reações de cada pessoa frente ao problema também. Dentre alguns relatos de moradores, alguns citaram cancelamento de atividade social devido sentir “vergonha” do odor.

5.4.4. Impactos Econômicos sobre o Patrimônio

A perspectiva dos moradores quanto a depreciação do patrimônio por conta dos odores está ilustrada na Figura 35. Entre as consequências provocadas pela geração de odores, a Figura 35(A) mostra que de acordo com os moradores, 48% consideram ter tido uma perda financeira e 52% acredita ter sofrido perda tanto financeira quanto física. Quando questionados se alguma vez já foi cogitada a possibilidade de se mudar de imóvel, como visto na Figura 35(B), 56% afirmaram que já pensaram sim em se mudar, enquanto 44% disseram não terem pensado nessa hipótese ainda.

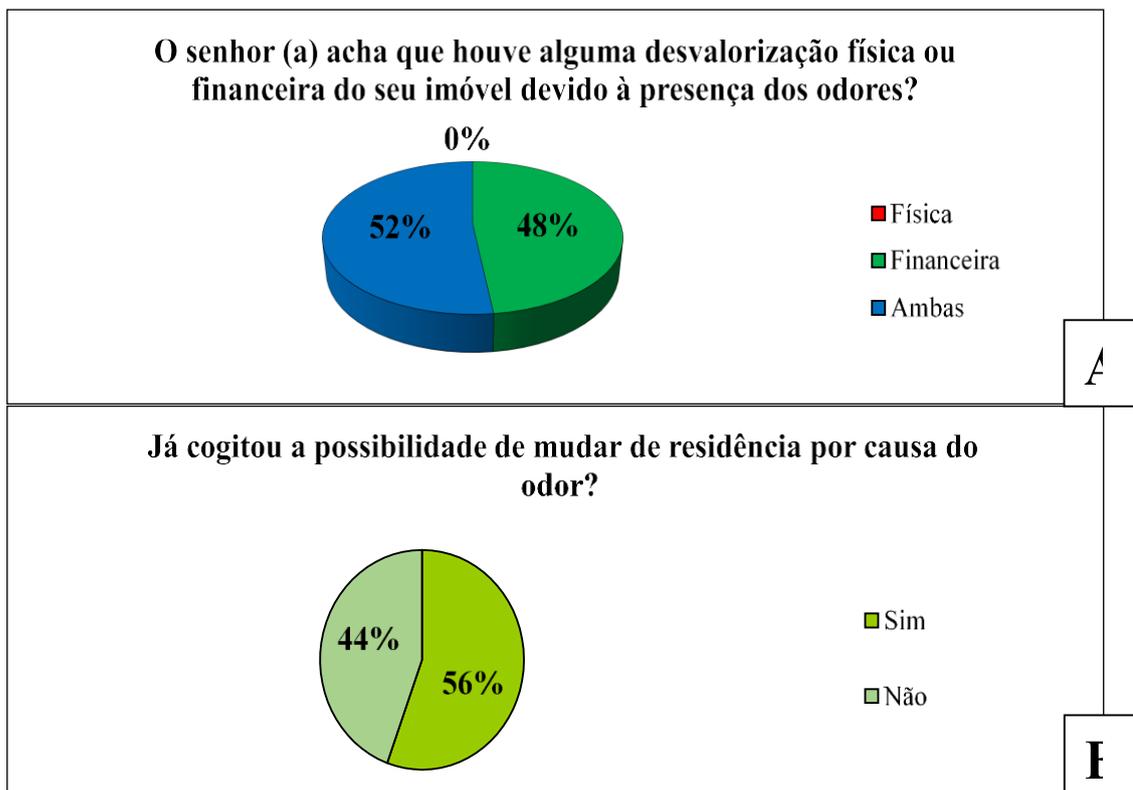


Figura 35. Informações dos entrevistados sobre os impactos econômicos (A autora, 2020)

Entre as reclamações mais recorrentes entre os moradores está a desvalorização dos terrenos. Alguns justificam que só o fato de suas residências estarem próximas a uma Estação de Tratamento de Esgoto já desprecia do imóvel por si só. Em alguns depoimentos, os entrevistados falaram sobre a dificuldade de vender os imóveis e também sobre a falta de solução para o incômodo gerado pelo odor.

5.4.5. Manifestações e Percepções quanto a Origem do Odor

Em busca da identificação da possível fonte geradora do odor, como ilustrado nas Figuras 36 e 37, foi perguntado aos respondentes ao que eles atribuíam o mau cheiro que sentem no interior e no entorno de suas residências. Como pode ser visto na Figura 36(A), 100% dos moradores foram enfáticos ao atribuir o odor à ETE Norte.

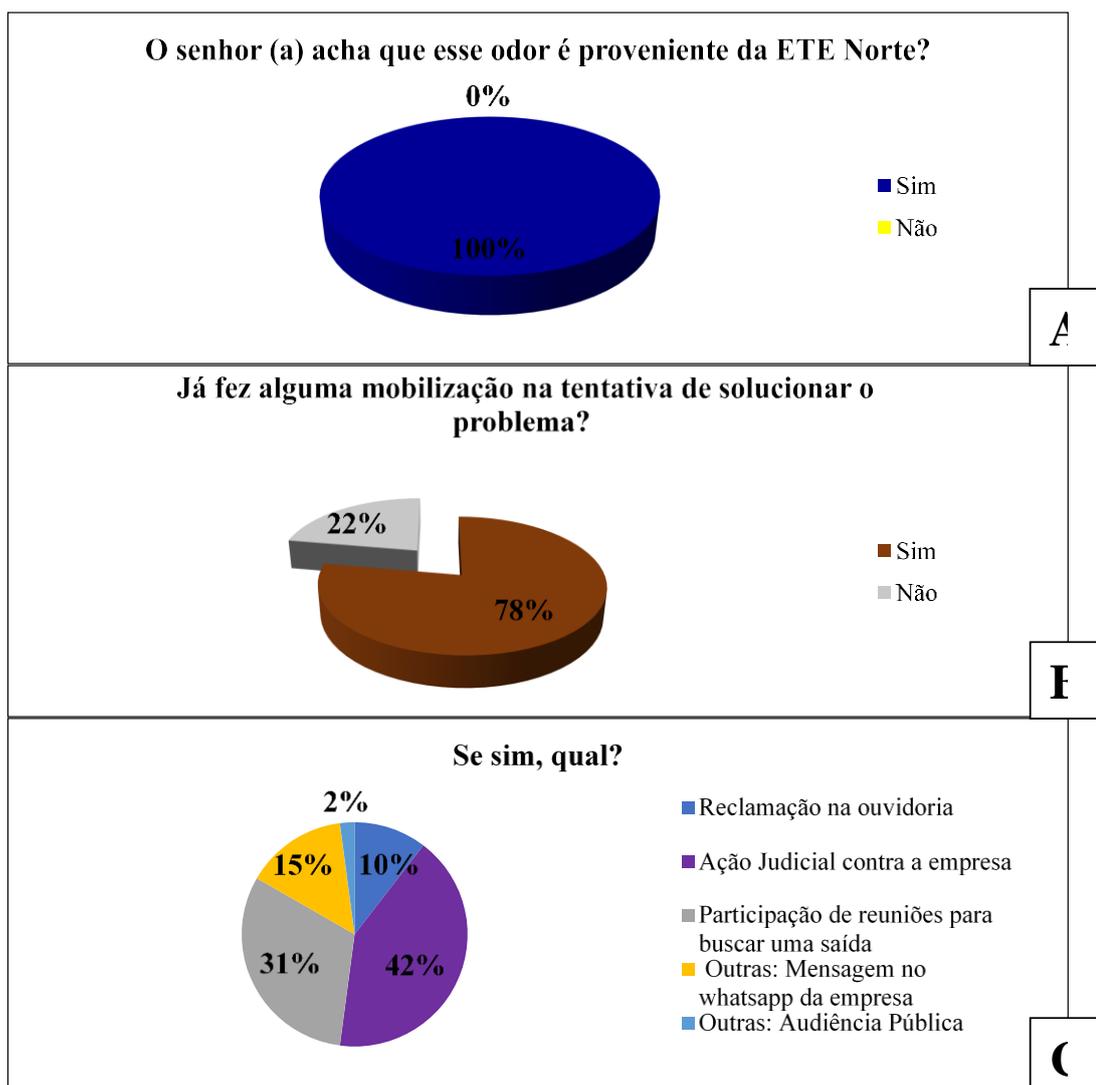


Figura 35. Informações dos entrevistados sobre manifestações e percepções do odor (A autora, 2020)

Como visto na Figura 36(B), quando questionados se já haviam realizado alguma mobilização para solucionar o problema do odor, 78% dos moradores afirmaram que já realizaram tentativas que visassem solucionar o problema do odor sentido, uma parcela de 22% disse não ter tomado nenhuma atitude com relação ao assunto.

Ao perguntar qual o tipo de mobilização o respondente já teria realizado, ilustrado na Figura 36(C), dentre as opções fornecidas a eles, 42% disseram ter dado entrada com ação judicial contra a empresa BRK, 31% afirmaram ter participado de reuniões com a finalidade de buscar uma saída junto à empresa, 10% realizaram reclamações via ouvidoria e, fora as alternativas propostas, 15% afirmaram ter entrado em contato utilizado o aplicativo *WhatsApp* disponibilizado pela concessionária responsável pela ETE, e 2% informaram ter participado de Audiência Pública para tratar do assunto.

Ao serem questionados sobre o posicionamento da empresa responsável pela estação de tratamento de esgoto em relação ao problema do odor, ilustrado na Figura 37, 43% dos moradores dizem que a empresa responsável indicou que vai solucionar o problema, mas sem mudanças, 18% afirmaram já terem “ouvido” falar que a empresa está realizando obras para contenção, 11% reclamaram da ausência de representantes da concessionária em reuniões marcadas para discutir o assunto, 14% acredita que a empresa está investigando para encontrar soluções mitigadoras e 14% dizem que em suas concepções a empresa não fez nada com relação ao odor.

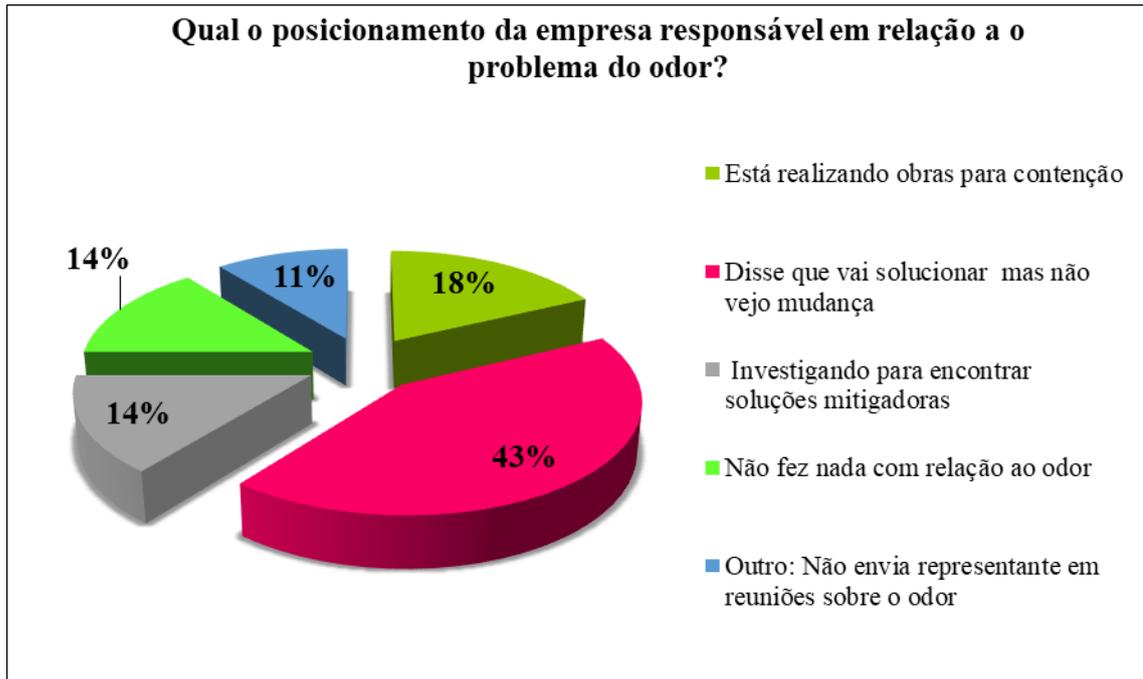


Figura 37. Informações dos entrevistados sobre as atitudes da empresa (A autora, 2020)

Em relação à possível fonte geradora de odor, notou-se que a maioria dos respondentes se sentem incrédulos quando se trata de benfeitorias realizadas por parte da concessionária em relação ao odor. O não comparecimento de representantes da empresa em reuniões fez com que, no entendimento de alguns moradores, essa atitude parecesse descaso com o problema vivido por eles. Por outro lado, pode-se observar que o fato da empresa está realizando obras de contenção e estar investindo em trabalhos que visem detectar o odor trouxe a esperança de que o problema será resolvido e traga melhorias na qualidade de vida dessas pessoas.

5.5. Análise dos Lavadores de Gás H₂S

O amostrador de grande volume tipo Trigás foi colocado durante 24 horas em 5 pontos no interior da ETE Norte e no condomínio Polinésia, como apresentado na Figura 38. A escolha dos pontos deu-se após a análise da Etapa 3, que identificou os possíveis locais de produção de gás sulfídrico, e teve como objetivo confirmar as concentrações encontradas nesta etapa.



Figura 38. Localização das medidas do amostrador de grandes volumes tipo Trigás (A autora, 2020)

Na Tabela 11 estão apresentadas as concentrações de sulfeto de hidrogênio obtidas pelos amostradores APV/TRIGÁS implantados em 15 pontos de coleta ao longo tanto da circunvizinhança como na própria ETE Norte em Palmas – TO, no período de 30 de setembro de 2019 a 8 de outubro de 2019.

Tabela 11. Concentrações de sulfeto de hidrogênio na circunvizinhança da ETE Norte

Amostra	Local	Ponto de Coleta	Limite de Detecção	Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1		UASB II (fundo)		< 2,0
2		UASB II (fundo)		< 2,0
3		UASB II (fundo)		< 2,0
4		UASB I (frente)		< 2,0
5	ETE Norte	UASB I (frente)	2,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	< 2,0
6		UASB I (frente)		< 2,0
7		Gradeamento		< 2,0
8		Gradeamento		< 2,0
9		Gradeamento		< 2,0
10		Decantador		< 2,0

11		Decantador		< 2,0
12		Marina (Polinésia)		< 2,0
13	Polinésia	Marina (Polinésia)	2,0 µg/m ³	< 2,0
14		Entrada (Polinésia)		< 2,0
15		Entrada (Polinésia)		< 2,0

As análises foram realizadas pelo Laboratório do Centro de Biologia Experimental – OCEANUS na cidade do Rio de Janeiro – RJ, pelo método de azul de metileno, onde as três primeiras amostragens foram realizadas em triplicata e as três últimas em duplicata, para que se pudesse contemplar mais um ponto, o da entrada do condomínio Polinésia sem comprometer o número total de 15 amostras previamente montados para o equipamento Trigás. Assim, em todos os pontos da amostragem, os valores encontrados foram inferiores ao limite de quantificação que é 2 µg/m³.

5.6. Análise dos Amostradores Passivos

A presente etapa foi prevista com a finalidade de confirmar a presença de gás sulfídrico nas residências vizinhas a ETE Norte, em especial para os moradores do Condomínio Polinésia. Uma das unidades ficou presa ao vigilante do condomínio, por ser uma metodologia que permite esse trânsito. Foram colocadas unidades dos amostradores também no interior da ETE, com a finalidade de confirmar a presença do gás sulfídrico e quantificá-lo.

Foram utilizados também 2 amostradores como prova em branco, idênticos aos utilizados na amostragem geral, que atuaram como amostras controle nas análises químicas, com a finalidade de verificar a ocorrência de uma possível contaminação das amostras durante o preparo, transporte e armazenamento das mesmas até ser realizada a análise. A utilização da prova em branco é uma prática padrão recomendada a fim de evitar interferências nos resultados ou que algum resultado seja mascarado.

A seguir, na Tabela 12, estão apresentadas as coordenadas geográficas dos pontos nos quais foram instalados os 11 amostradores passivos durante 7 dias consecutivos, distribuídos tanto na circunvizinhança como na própria ETE Norte em Palmas – TO, no período de 01 de outubro de 2019 a 10 de outubro de 2019.

Tabela 12. Coordenadas geográficas dos pontos de instalações dos amostradores passivos

Local	Coordenada
Residência 1	S 10° 8' 34''

	W 48° 21' 21''
Residência 2	S 10° 8' 36'' W 48° 21' 17''
Residência 3	S 10° 8' 29'' W 48° 21' 30''
Residência 4	S 10° 8' 35'' W 48° 21' 22''
Residência 5	S 10° 8' 36'' W 48° 21' 26''
Área externa Polinésia	S 10° 8' 34'' W 48° 21' 38''
Prova em Branco Polinésia	S 10° 8' 34'' W 48° 21' 38''
Funcionário Polinésia	-
Queimador de Gás BRK	S 10° 8' 44'' W 48° 21' 30''
Prova em Branco BRK	S 10° 8' 44'' W 48° 21' 30''
Funcionário BRK	-

A Figura 39 apresenta a localização onde foram instalados os medidores passivos na ETE Norte, como também nas residências no interior do Condomínio Polinésia.

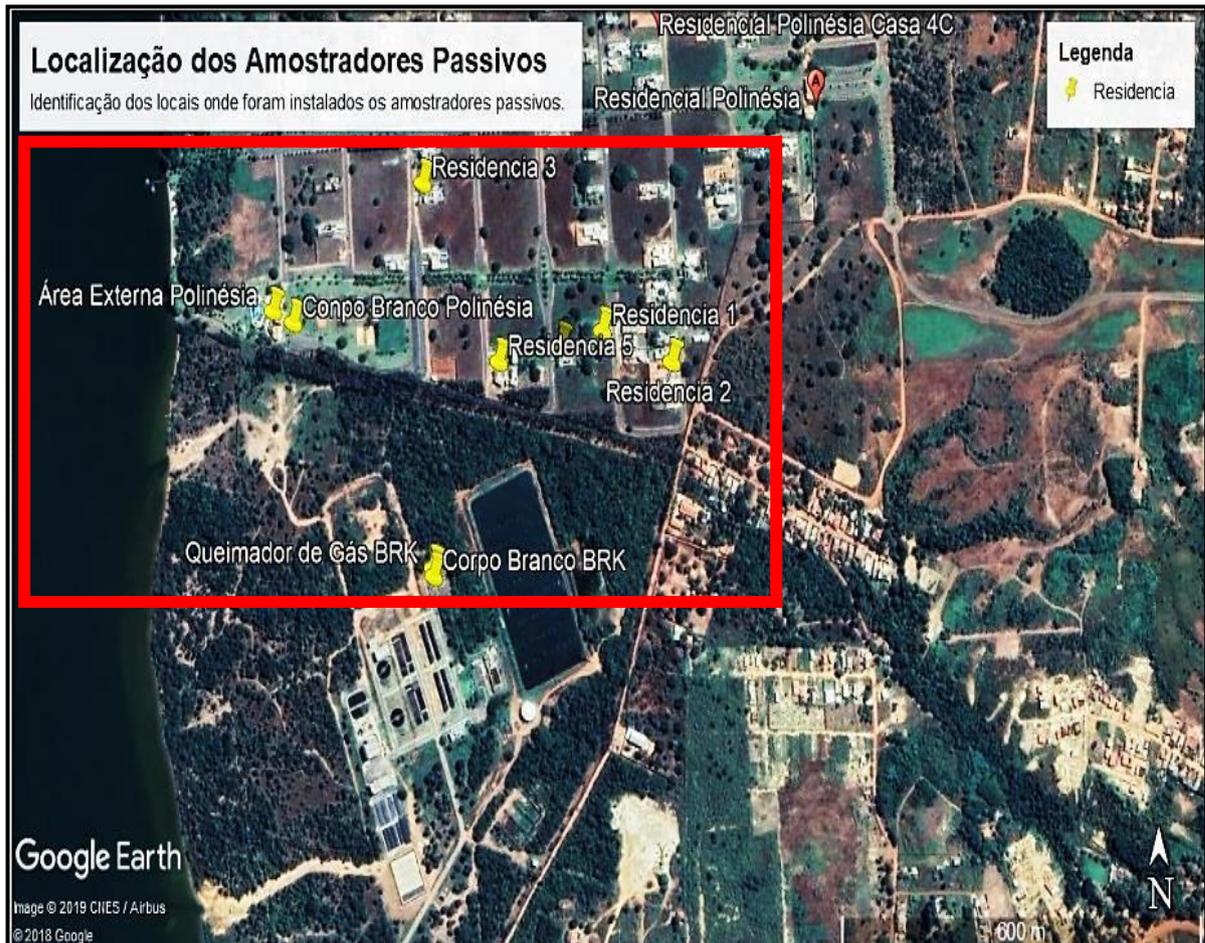


Figura 39. Mapa da localização dos amostradores passivos (A autora, 2020)

As concentrações de sulfeto de hidrogênio obtidas nas análises realizadas pelo Laboratório Oceanus se encontram na Tabela 13.

Tabela 13. Concentrações de sulfeto de hidrogênio na circunvizinhança da ETE Norte

Amostra	Local	Ponto de Coleta	Limite de Detecção	Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1		Casa 1		< 2,0
2		Casa 2		< 2,0
3		Casa 3		< 2,0
4	Polinésia	Casa 4	2,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	< 2,0
5		Casa 5		< 2,0
6		Piscina		< 2,0
7		Funcionário		< 2,0
8		Ponto Branco		< 2,0
9		Queimador de Gás		< 2,0
10	ETE Norte	Funcionário	2,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	< 2,0
11		Ponto Branco		< 2,0

Ao considerar os pressupostos meteorológicos discutidos anteriormente, identificou-se o sulfeto de hidrogênio como marcador de odor quantificável nas áreas em questão. Sabe-se que o H₂S é um gás característico de estações de tratamento de esgoto que adotam sistemas anaeróbios. Facilmente detectável pelo nariz humano, esse gás é frequentemente associado ao cheiro de “ovo podre”, mesmo em pequenas concentrações no ar ambiente (0,01 ppm).

O limite de detecção mínimo para o H₂S é de 0,00047 ppm ou 0,76 µg m⁻³, e a exposição à essa concentração não traduz risco a saúde pública em intervalos de tempo de até 8 horas diárias ou 40 horas semanais (Kilburn et al., 2010). Conforme Correia (2002) e OSHA (2005), para concentrações de até 2 µg m⁻³, os efeitos ao ser humano são de “odor ofensivo” ou o suficiente para causar incômodos respiratórios.

Todos os pontos amostrados apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção adotado na metodologia de análise. Essa resposta já era esperada, dado que na primeira época em que foram feitas as medições manuais, concentrações baixas já haviam sido detectadas e, portando, seria normal não haver sinais do gás quando medidos com os amostradores passivos. As providências iniciais tomadas pela empresa para reparar os danos também podem ter influenciado na resposta obtida.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- A análise dos parâmetros meteorológicos indicou que a direção dos ventos, de fato, segue para a localidade onde há maiores reclamações sobre o odor da ETE;
- Os parâmetros físico-químicos do esgoto bruto e efluente tratado estão de acordo com as bases legais a nível nacional;
- As concentrações de H₂S ao longo da ETE atingiram valores considerados críticos, o que estava servindo de influência para formação e dispersão de plumas gasosas nas regiões do entorno;
- As análises feitas por meio de lavadores de gás e amostradores passivos indicaram que, nos pontos coletados, as concentrações de H₂S estavam abaixo do limite de detecção do método por conta dos reparos iniciais feitos pela empresa;
- As respostas aos questionários refletiram os impactos do odor na vizinhança da ETE e o descontentamento da população quanto a falta de ação da empresa responsável;
- Recomendações:
 - Quantificar experimentalmente as cargas de emissão de H₂S nas unidades de tratamento de esgoto com uso de métodos de amostragem direta da fase gasosa para permitir comparações com as cargas de emissão preditas pelos modelos de emissão de odor e, assim, obter melhor acuracidade;
 - Implementar um programa de monitoramento diário dos gases provenientes dos processos operacionais da ETE Norte nas 6 unidades de tratamento de esgoto que apresentaram alta concentração do gás sulfídrico;
 - Implantar monitoramento de odor nas estações elevatórias de esgoto;
 - Implantar rotina operacional para identificação de gases odorantes fugitivos nos principais geradores de gás sulfídrico indicados no presente estudo, para que seja efetuado o reparo no menor tempo possível;

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELLI FILHO, P.; DE MELO LISBOA, H. M. Avaliação de emissões odorantes. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 3, n. ¾, p. 101-106, 1998.

BELLI FILHO, P.; WOLFF, D. B.; CABRAL, F. A. S.; CARVALHO, C. M.; CHIARANDA, H. S.; COSTA, R. H. R. Controle e tratamento de odores de um reator anaeróbio com biofiltração. PROSAB. Pós-Tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. **Coletânea de Trabalhos Técnicos**, v. 2, p. 241 – 252, 2001.

BRASIL – Conselho Nacional do Meio Ambiente: Resolução N.º 001 de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 fev. 1986.

BRASIL – Conselho Nacional do Meio Ambiente: Resolução N.º 003 de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 22 ago. 1990.

BRASIL – Lei N.º 11.445 de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF.

BRASIL – Conselho Nacional de Meio Ambiente: Resolução N.º 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 maio 2011.

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

BRASIL – Conselho Nacional de Meio Ambiente: Resolução N.º 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 21 de nov. 2018.

BROSTEL, R. C.; SOUZA, M. A. A. Uma proposta para avaliação do grau de impacto ambiental provocado por estações de tratamento de esgotos. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. **Anais...** Campo Grande, MS, Brasil, 2005.

CABRAL, F. A. S.; BELLI FILHO, P.; LISBOA, H. de M.; WILLEMANN, A. Biofiltro para o tratamento dos odores da ETE do município de Orleans – SC. 36ª Assembleia Nacional da ASSEMAE. **Anais...** Joinville, SC, Brasil, 2007.

CARVALHO, C. M.; SILVA, G. P.; LISBOA, H.; BELLI FILHO, P.; CARMO JR, G. N. R. Olfatometria como ferramenta de avaliação da qualidade do ar - Estudo de casos. 22º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. **Anais...** Joinville, SC, Brasil, 2003.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Vol. 5 – Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte: SEGRAC, 246 p., 1997.

CHERNICHARO, C. A. L.; STUETZ, R. M. Improving the design and operation of UASB reactors for treating domestic wastewater: management of gaseous emissions. IX Latin American Workshop and Seminar on Anaerobic Digestion. **Annals...** Eastern Island - Chile: IWA, 2008.

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**, v. 15, n. 3, p. 229-236, 2010.

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

CORREIA, M. **Sistemas públicos de saneamento de águas residuais urbanas**. IDICT, Lisboa, 2002.

DINCER, F.; MUEZZINOGLU, A. Odor determination at wastewater collection systems: olfactometry versus H₂S analyses. **CLEAN – Soil, Air, Water**, v. 35, n. 6, p. 565–570, 2007.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6ª. Ed. Atlas. 2008

GLÓRIA, R. M. **Estudo dos processos de formação, acumulação, emissão e oxidação de sulfeto de hidrogênio em reatores UASB tratando esgotos domésticos**. 65 f. Dissertação (Mestrado) – em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

GOODE, W. J.; HATT, P. K. **Métodos em pesquisa social**. 4ª ed. São Paulo: Nacional, 1972.

GOSTELOW, P.; PARSONS, S. A.; STUETZ, R. M. Review Paper: Odour measurements for sewage treatment Works. **Water Research**, v. 35, n. 3, p. 579-597, 2001.

GRASEL, A. M. **Determinação de sulfeto de hidrogênio nas proximidades de estações de tratamento de esgoto em Curitiba - PR, Brasil**. 88 f. Dissertação (Mestrado) – em Engenharia Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Introdução ao Sistema de Informações Geográficas – SGI**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap1-introducao.pdf>, 2016.

KILBURN, K. H., THRASHER, J. D.; GRAY, M. R. Low-level hydrogen sulfide and central nervous system dysfunction. **Toxicology and Industrial Health**, v. 26, n. 7, p. 387–405, 2010.

KIM, A. J.; LAZAR, A. A.; SLUTSKIY, Y. B. System identification of Drosophila olfactory sensory neurons. **Journal of Computational Neuroscience**, v. 30, p. 143–161, 2011.

LINDAU, R. A new Beaufort Equivalent Scale. **Proc. Int. COADSWorkshop**, Kiel, Germany, Berichte aus dem Institut für Meereskunde, 232–252, 1995.

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.

LYRA, D. G. P. **Modelo integrado de gestão da qualidade do ar da região metropolitana de Salvador**. Tese de Doutorado - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 255p., 2008.

MAINIER, F. B.; VIOLA, E. D. M. O sulfeto de hidrogênio (H₂S) e o meio ambiente. II Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. **Anais...** Resende, RJ, Brasil, p. 612-618, 2005.

MARTIN, G.; LAFFORT, P. **Odeurs et désodorisation dans l'environnement**. Paris: Tec & Doc Lavoisier, 1991.

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.

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.

NEVES, N. M. Conhecimentos básicos sobre poluição atmosférica. Salvador, 70p., 1999.

OLIVEIRA, C. J. S. **Avaliação da microaeração na eficiência, estabilidade operacional, qualidade do biogás e controle de odor em sistema anaeróbio de tratamento**. 105 f. Dissertação (Mestrado) – em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

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

RODRIGUES, J. P. **Modelagem Matemática da dispersão de poluentes atmosféricos como etapa de pré-seleção de locais para instalação de estações de monitoramento da qualidade do ar em Paranaguá – PR**. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Área de concentração Tecnologias e Processos Ambientais. UTFPA, Curitiba, PR, 2016.

SÃO PAULO. Lei N.º 9477 de 1996. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, SP.

SARTI, A., SAKAMOTO, I. K., VARESCHE, M. B. A., ZAIAT, M., FORESTI, E. Tratamento de esgoto sanitário utilizando reatores anaeróbios operados em bateladas sequenciais (escala piloto). **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 73-82, 2006.

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

SCHIMER, W. N. **Amostragem, análise e proposta de tratamento de compostos orgânico voláteis e odorantes na estação de tratamento de efluentes de uma refinaria de petróleo.** 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

SILVA, A. B. **Avaliação da produção de odor na estação de tratamento de esgoto Paranoá e seus problemas associados.** Dissertação de Mestrado, Publicação PTARH.DM-105/2007, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF- 2007.

SOUZA, C. L. **Estudo quantitativo e qualitativo de espuma acumulada em reatores UASB tratando esgotos domésticos.** 130 f. Dissertação (Mestrado) – em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

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

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.

TSUTIYA, M. T.; ALEM SOBRINHO, P. **Coleta e transporte de esgoto sanitário.** 2^a ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica de São Paulo, 2000.

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.

von SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, vol. 1, 4^a Edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 452 p., 2014.

Wallace, J. M.; Hobbs, P. V. **Atmospheric science: an introductory survey.** Academic Press. New York. 467p., 2006.

WHO - World Health Organization. **Hydrogen sulfide. Environmental health criteria n° 19.** Geneva, 1981.

WHO – World Health Organization. **Air quality guideline for Europe.** 2nd Ed. WHO Regional Publications, European Series, No. 91, Copenhagen, 2000.

WEF. **Odor control in wastewater treatment plants.** New York, 1995. 282 p.

ANEXOS

Questionário Aplicado aos Entrevistados



PESQUISA ODOR ETE-NORTE

Este questionário tem por objetivo identificar e caracterizar o grau de dispersão do odor no entorno da Estação de Tratamento de Esgoto Norte.

Termo de aceite de divulgação dos resultados da pesquisa

Os resultados desse questionário serão utilizados como parte integrante do Relatório Final deste projeto que será entregue a BRK-Ambiental, e resultará na elaboração de uma dissertação de mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Tocantins.

Aceito a Divulgação dos dados

Não aceito a divulgação dos dados

Data: ___/___/_____

I- Identificação do entrevistado

1) Sexo: Fem Masc

2) Qual o Nível de escolaridade?

Sem Escolaridade Ensino Fundamental Ensino Médio Ensino Superior
 Ensino Superior Incompleto

II- Caracterização quanto à percepção do Odor

3) O senhor (a) sente algum odor na área limite de sua residência?

Sim Não

4) Qual o período que o senhor (a) mais sente o odor?

Manhã- 06:01 às 12:00 Tarde- 12:01 às 18:00 Noite- 18:01 às 00:00 Madrugada-
00: 01 às 06:00

5) Qual a intensidade desse odor?

Fraco-1 Moderado-2 Forte-3 Muito forte-4

6) Normalmente, qual a duração do odor?

Rápida (Segundos) Média (Minutos) Demorada (Horas)

7) Com que frequência o senhor (a) percebe esse odor?

diariamente de 2 a 3 vezes por semana mensalmente

III- Nível de interferência dos odores na vida pessoal e social da vizinhança

8) Sente algum sintoma ou desconforto devido a esse odor?

sim não



9) Se a resposta do item anterior for positiva, quais os sintomas?

- Irritação nos olhos irritação na garganta náuseas vômito dor de cabeça
 estresse perda de apetite perda de sono Outros quais? _____

10) Quanto ao odor, quão incomodado o senhor (a) se sente?

- não me incomoda- 1 me incomoda pouco- 2 me incomoda- 3
 me incomoda muito- 4 me deixa extremamente incomodado- 5

IV- Com relação ao Patrimônio

11) O senhor (a) acha que houve alguma desvalorização física ou financeira do seu imóvel devido à presença dos odores?

- Física Financeira Ambas

12) Já cogitou a possibilidade de mudar de residência por causa do odor?

- sim não

V- Avaliação em relação a questões ligadas ao possível gerador de odor.

13) O senhor (a) acha que esse odor é proveniente da ETE-NORTE?

- sim não Se não, qual seria a possível fonte geradora do odor? _____

14) Já fez alguma mobilização na tentativa de solucionar o problema?

- sim não

15) Se sim, qual?

- Reclamação na ouvidoria
 Ação Judicial contra a empresa
 Participação de reuniões para buscar uma saída
 Outras _____

16) Qual o posicionamento da empresa responsável em relação a o problema do odor?

- Está realizando obras para contenção
 Disse que vai solucionar mas não vejo mudança
 Investigando para encontrar soluções mitigadoras
 Não fez nada
 outro: _____