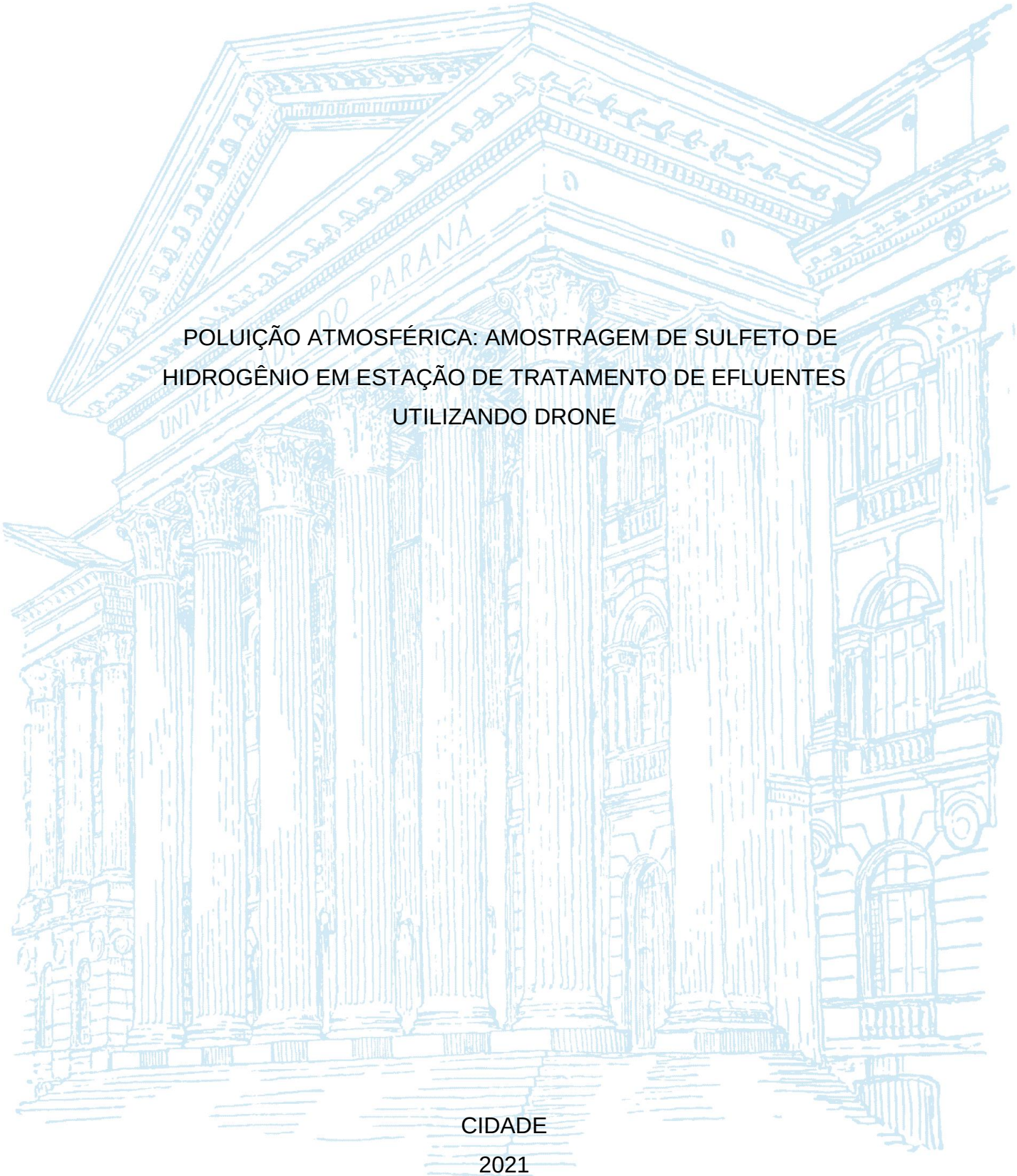
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EDUARDO HARO SCHNECKENBERG



POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA: AMOSTRAGEM DE SULFETO DE HIDROGÊNIO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES UTILIZANDO DRONE

CIDADE

2021

EDUARDO HARO SCHNECKENBERG

POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA: AMOSTRAGEM DE SULFETO DE HIDROGÊNIO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES UTILIZANDO DRONE

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Setor de Graduação, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Henrique Moreton Godoi

CURITIBA

2021

RESUMO

A resolução espacial e temporal dos dados gerados em estações de monitoramento fixas, assim como das medições das aeronaves tripuladas e de satélites são relativamente baixas e muitas vezes inadequadas para aplicações em microescalas.

Pequenos Drones equipados com diferentes sensores foram introduzidos recentemente no monitoramento da qualidade do ar in situ, uma vez que podem oferecer novas oportunidades de investigação no domínio da poluição atmosférica e do monitoramento das emissões. Gases como H_2S emitidos para a atmosfera a partir de estações de tratamento anaeróbias de águas residuais podem causar problemas sociais e econômicos agudos. Aparte ao evidente odor desagradável, a principal causa de preocupação relativamente à poluição por H_2S é a sua toxicidade.

O objetivo deste estudo foi avaliar, de maneira exploratória, a concentração de H_2S nas vizinhanças de uma estação de tratamento de esgoto utilizando um sensor específico de H_2S, que opera na faixa de 0 a 1000 ppb, embarcado em um Drone.

Foram realizadas 12 amostragens durante os meses de outubro e novembro de 2019 e junho, julho e agosto de 2020. A trajetória descrita pela aeronave permitiu mensurar a distribuição da concentração de H_2S no espaço bidimensional (distância e alturas) totalizando 20 pontos no entorno de uma estação de tratamento de esgoto da cidade de Curitiba-PR.As avaliações exploratórias indicaram dois perfis de concentração de H2S. Meses mais quentes registraram maiores concentrações médias com o máximo de 470 ppb. Em contra partida, nos meses de menor temperatura, as concentrações médias foram de 15 ppb. Comparativamente, os dados gerados neste trabalho registraram concentrações seis vezes maiores que em um estudo anterior (162 ppb).

As concentrações médias encontradas ao nível do solo (162, 143 e 74,6 ppb, por exemplo) superaram os níveis seguros indicados pela Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) para casos agudos (70 ppb), e para casos crônicos (30 ppb). Os dados registrados nesta pesquisa também superam o nível seguro de 0,7 ppb para uma exposição ao longo da vida. Por fim, a partir dos dados registrados observou-se que as variáveis meteorológicas (radiação solar, velocidade e sentido do vento) exercem papel fundamental no aumento e na distribuição das emissões de H_2S e que a população que reside nas vizinhanças da ETE, bem como os trabalhadores da estação está sujeito a efeitos adversos na saúde devido a exposição crônica ao poluente.

.

Palavras-chave: Amostragem de gases. Drone. Estação de tratamento de efluentes. Sulfeto de hidrogênio.

ABSTRACT

The spatial and temporal resolution of the data generated in fixed monitoring stations, as well as the measurements of manned aircraft and satellites are relatively low and often unsuitable for microscale applications. Small drones equipped with different sensors have been recently introduced to monitor air quality in situ as they can offer new research opportunities in the field of air pollution and emissions monitoring. Gases such as H_2S emitted into the atmosphere from anaerobic wastewater treatment plants can cause acute social and economic problems. Apart from the nasty smell, the main cause for concern about pollution caused by H_2S is its toxicity.The objective of this study is to evaluate, in an exploratory way, a concentration of H_2S in the neighborhood of a wastewater treatment plant using a specific H_2S sensor, which operates in the range of 0 to 1000 ppb, fixed on a Drone.12 samplings were done out during the months of October and November 2019 and June, July and August 2020.The trajectory described by the aircraft allowed measuring the distribution of H_2S concentration in two-dimensional space (distance and heights) totaling 20 points around a wastewater treatment plant in the city of Curitiba-PR. Exploratory evaluations indicated two H_2S concentration profiles. Warmer months registered higher average concentrations with a maximum of XXppm. On the other hand, in the months of lower temperature, the avegera concentrations were 479 ppb. Comparatively, the data generated in this work registered concentrations three times higher than in a previous study (162 ppb).The concentrations found at ground level (162, 143 and 74,6 ppb for exemple) exceeded the safe levels indicated by the Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) for acute cases (70 ppb), and for chronic cases (30 ppb).Finally, from the recorded data, it was observed that the meteorological variables (solar radiation, wind speed and direction) has a fundamental effect in the increase and distribution of H_2S emissions and that the population residing in the neightborhood of the ETE, as well as the station workers, are subject to adverse health effects due to exposure to the pollutant

Keywords: Gas sampling. Drone. Waterwaste plant treatment. Hydrogen sulfide.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DA CÉLULA ELETROQUÍMICA DE UM SENSOR AMPERIMETRICO 22
FIGURA 2– TESTE EM TUNEL DE VENTO PARA MODELO DJI PHANTOM 3.....24
FIGURA 3- MODELAGEM DAS CORRENTES DE AR GERADAS PELA HÉLICE DO DRONE.....25
FIGURA 4– DISTRIBUIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE UM POLUENTE SEGUNDO MODELO DE GAUSS.....27
FIGURA 5 - LOCAL DE AMOSTRAGEM – VISÃO AREA.....28
FIGURA 6 - PHANTOM 3 STANDART DJI 29
FIGURA 7 – SENSOR *CAIRSEN* PARA H_2S.....30
FIGURA 8 – SENSOR EMBARCADO EM *DRONE* 31
FIGURA 9– MODELO DA TRAJETÓRIA DESCRITA PELA AERONAVE 32
FIGURA 10 – PONTOS DE AMOSTRAGEM REALIZADOS 32
FIGURA 11 – DIAGRAMA DE CORES PARA REPRESENTAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES AMOSTRADAS EM CADA PONTO PARA O ENSAIO DO DIA 05/10/2019.....34
FIGURA 12 – DIAGRAMA DE CORES PARA REPRESENTAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES AMOSTRADAS EM CADA PONTOPARA O ENSAIO DO DIA 07/10/2019 34
FIGURA 13 – DIAGRAMA DE CORES PARA REPRESENTAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES AMOSTRADAS EM CADA PONTO PARA O ENSAIO DO DIA 07/11/2019.....35
FIGURA 14 – ROSA DOS VENTOS PARA O PERIODO AMOSTRAL DO GRUPO 1 – PRIMAVERA 2019 36
FIGURA 15 – DIAGRAMA DE CORES PARA REPRESENTAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES AMOSTRADAS EM CADA PONTO PARA O ENSAIO DO DIA 13/06/2020.....37
FIGURA 16 – DIAGRAMA DE CORES PARA REPRESENTAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES AMOSTRADAS EM CADA PONTO PARA O ENSAIO DO DIA 11/07/2020.....37

FIGURA 17 – DIAGRAMA DE CORES PARA REPRESENTAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES AMOSTRADAS EM CADA PONTO PARA O ENSAIO DO DIA 05/08/2020.....37
FIGURA 18 - ROSA DOS VENTOS PARA O PERIODO AMOSTRAL DO GRUPO 2 – INVERNO 2020.....38

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – EFEITOS CAUSADOS DEVIDO A EXPOSIÇÃO AGUDA AO H_2S 19
TABELA 2 – CONCENTRAÇÕES AMOSTRADAS A 2 METROS DE ALTURA 39
TABELA 3 – PARÂMETROS PARA SIMULAÇÃO 1 40
TABELA 4 – PARÂMETROS PARA SIMULAÇÃO 2 41

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

APA	- Agência de Proteção Ambiental
CONAMA	- Conselho Nacional Do Meio Ambiente
ETE	- Estação de Tratamento de Efluentes
NASA	- National Aeronautics and Space Administration (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço)
OMS	- Organização Mundial Da Saúde
UASB	- Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo)
VANT	- Veículo Aéreo Não Tripulado (“Drone”)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16
1.1 OBJETIVOS 17
Objetivo geral 17
Objetivos específicos 17
2 REVISÃO DE LITERATURA 18
2.1 POLUIÇÂO ATMOSFÉRICA 18
2.2 SULFETO DE HIDROGÊNIO – H_2S 18
2.3 Mecanismo de formação de H_2S em estação de tratamento de efluentes 20
2.4 AMOSTRAGEM DE GASES 21
2.5 CARACTERÍSTICAS DE VÉICULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (DRONE*)* 23
2.6 USO DE SENSORES ELETROQUÍMICOS EMBARCADOS 25
2.7 MODELO DE DISPERSÃO GAUSSIANO 26
3 MATERIAL E MÉTODOS 27
3.1 LOCAL DE TESTE DA EFETIVIDADE DO DRONE PARA A AMOSTRAGEM DE H_2S 27
3.2 EQUIPAMENTOS 28
3.3 PROCEDIMENTO DE AMOSTRAGEM 31
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 33
5.1 CÁLCULO DO FATOR DE RISCO PARA EXPOSIÇÃO CRÔNICA AO H_2S BASEADO AS CONCENTRAÇÕES OBTIDAS A 2 METROS DE ALTITUDE 39
6 CONCLUSÕES 42
REFERÊNCIAS 44
APÊNDICES 46

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, os Drones têm sido usados em diversas aplicações como ferramenta de monitoramento ambiental, sendo possível identificar a exploração indevida de recursos naturais em áreas de proteção ambiental, realizar o mapeamento topográfico de áreas com acesso restrito, monitoramento de desastres e atividade vulcânica, bem como o uso para identificar focos de incêndio em áreas de difícil acesso. (Villa, 2016)

No ano de 2018, Karena e colaboradores desenvolveram um estudo envolvendo amostragem de compostos orgânicos voláteis (COV's) a partir de um amostrador embarcado em Drone, na Cidade de Manaus – AM. O procedimento envolveu o desenvolvimento de um amostrador, com cinco cartuchos contendo um material adsorvente para coleta dos COVs presentes no ar. Posteriormente os cartuchos foram enviados para a análise química, onde a partir da cromatografia gasosa foi possível determinar a concentração amostrada. Segundo os resultados obtidos por Karena (2018) e Villa (2016), o uso dos *Drones* são uma ótima ferramenta para mensurar compostos gasosos contidos na atmosfera, bem como para mensurar a emissão de demais gases produzidos por indústrias, aterros sanitários, plumas vulcânicas e outras fontes originadas por ação antrópica.

Segundo dados do IBGE publicado em 2020, residem na cidade de Curitiba, aproximadamente, 1,9 milhões de pessoas, o que implica em uma grande geração de esgoto doméstico que, naturalmente, seria despejado nos corpos hídricos existentes na região. Segundo Sperling (2005) este aporte de carga poluidora pode exceder a capacidade de autodepuração dos corpos d'agua receptores causando severos impactos à qualidade da água, bem como para a biota local. Portanto, se fez necessário a construção de estações de tratamento de efluentes (ETE), as quais são responsáveis pelo tratamento biológico do efluente para posterior lançamento nos corpos d'agua existentes na região (com qualidade idêntica ou superior a do corpo hídrico receptor).

Um dos modelos empregados para tratamento biológico de efluentes nas estações utiliza como mecanismo reatores do tipo UASB (reator anaeróbio de fluxo ascendente), que por intermédio de bactérias anaeróbias realizam a decomposição da matéria orgânica presente no efluente e esta reação tem como subproduto um gás denominado sulfeto de hidrogênio (H_2S), o principal responsável pelo mal odor

nas ETES. A companhia de saneamento do Paraná (SANEPAR) realiza, desde 2008, um inventário periódicos dos gases de efeito estufa provenientes das atividades da empresa em todo o estado do Paraná. Neste documento constam também as emissões geradas a partir do tratamento dos efluentes nas estações, no entanto, como o H_2S não está inserido na lista de gases responsáveis pelo efeito estufa, a quantificação de suas emissões não é apresentada neste inventário.

Por ser as ETES um potencial poluidor, a realização de uma investigação específica se faz necessária, uma vez que a exposição aguda e crônica ao H_2S pode acarretar em sérios riscos à saúde, como indicado pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 2003). Este monitoramento específico deste gás está fundamentado nas inúmeras reclamações feitas por moradores dos arredores da Estação de Tratamento de Esgoto.

Considerando as especificidades do local emissor, o presente estudo tem como objetivo realizar a amostragem exploratória do sulfeto de hidrogênio no entorno de uma estação de tratamento de efluentes utilizando um sensor do H_2S embarcado em Drone de pequeno porte.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo geral

O objetivo deste estudo é investigar a concentração de H_2S no entorno de uma estação de tratamento de efluentes utilizando um sensor de eletroquímico embarcado em Drone.

Objetivos específicos

- Implementar uma análise exploratória de H_2S no entorno de uma ETE;
- Quantificar as concentrações de H_2S nas diversas estações do ano;
- Verificar a existência de pontos com altos valores de concentração do poluente nos arredores da ETE.
- Relacionar às concentrações de H2S encontrados com o potencial gerar malefícios a saúde da população do entorno.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 POLUIÇÂO ATMOSFÉRICA

Segundo a resolução CONAMA (2020), poluição atmosférica pode ser compreendida como um conjunto de partículas ou gases contidos no ar que a partir de determinada concentração causam danos à saúde humana, fauna e flora da região. Tendo em vista que muitos poluentes não alteram características perceptíveis no ar, os impactos devido a emissão de partículas perigosas começaram a ser observadas a partir do aumento dos gastos com a saúde pública relacionados com problemas respiratórios e cardiovasculares, os quais foram posteriormente associados à exposição a poluentes no ar. (OMS, 2018)

De acordo com o recente relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS), publicado em outubro de 2018, nove em cada dez pessoas respiram ar poluído, o que causa a morte de 7 milhões de pessoas, ao redor do planeta, todos os anos. As enfermidades vinculadas à exposição de poluentes atmosféricos descritas frequentemente são: derrame, câncer, insuficiência respiratória, enfisema pulmonar, danos cardíacos e cerebrais que implicam severamente na qualidade de vida dos indivíduos.

2.2 SULFETO DE HIDROGÊNIO – H_2S

Sulfeto de hidrogênio é um gás incolor, inflamável, solúvel em água e apresenta odor característico de ovo podre. O H_2S pode ser formado na decomposição anaeróbia, ausência de oxigênio, de compostos orgânicos sulfurosos ou pela redução de sulfitos e sulfatos minerais. O sulfeto de hidrogênio, em solução aquosa, é conhecido como ácido sulfídrico, pois sofre ionização e possui propriedades corrosivas, e em misturas gasosas, apresenta certo grau de toxicidade, mesmo que em baixas concentrações.

Os efeitos na saúde humana devido a inalação do H_2S variam de acordo com a concentração do gás sulfídrico presente no ar. Segundo Goodman & Gilman (1987), apesar do seu odor característico e desagradável, o H_2S em teores acima de 150 ppm (partes por milhão) provoca a perda da sensação de odor, que é devido à fadiga do sistema olfatório sensitivo pela destruição dos nervos (neuroepitélio

olfatório) responsáveis por esta função. A Tabela 1 abaixo relaciona a concentração do poluente na atmosfera com o impacto à saúde humana.

TABELA 1 – EFEITOS CAUSADOS DEVIDO A EXPOSIÇÃO AGUDA AO H_2S

Concentração H_2S (ppm)	Tempo de Exposição	Efeito à Saúde Humana
0,05 – 5	1 minuto	Detecção do odor característico
10 – 30	6 - 8 horas	Irritação dos olhos
50 – 100	0.5 – 1 hora	Conjuntivite, dificuldades de respiração
150 – 200	2 - 15 minutos	Perda de olfato
250 - 350	2 - 15 minutos	Irritação dos olhos
350 - 450	2 - 15 minutos	Inconsciência, convulsão
500 - 600	2 - 15 minutos	Distúrbios respiratórios e circulatórios
700 - 1500	0 - 2 minutos	Colapso, morte

FONTE: Fernando B. Mainier (2005).

Cabe ressaltar que segundo o relatório publicado pela OMS, em 2003, existem dois tipos de exposição a poluentes atmosféricos, a crônica e a aguda. Os efeitos descritos na Tabela 1 são para a exposição aguda (pequeno período de exposição - horas), com isso a Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA) desenvolveu o sistema de informações de risco (RAIS), para estimar o possível risco a saúde da população com exposição crônica ao poluente (grande período de exposição - anos).

De acordo com a USEPA (2011), o risco não carcinogênico, que pode ser compreendido como efeito tóxico causado pela substância, é expresso pela equação:

$$QR = \frac{CE}{RFC}$$

Onde:

QR = quociente de risco;

CE = concentração de exposição;

RFC = concentração de referência para inalação;

O quociente de risco assume que existe um nível de exposição abaixo do qual é improvável, mesmo para indivíduos sensíveis à ocorrência de efeitos adversos a saúde, onde:

- QR<1, indica que não existe risco significante ao indivíduo;
- QR>1, indica que o indivíduo está sujeito a efeitos adversos, e estes efeitos tornam-se mais intensos a medida que o valor do coeficiente aumenta;

Para determinar o coeficiente de risco é preciso calcular, anteriormente, a concentração de exposição (CE), que relaciona alguns fatores ligados ao tempo médio de exposição da população ao poluente. A determinação do CE é feita, segundo a equação abaixo:

$$CE = \frac{CAxEFxEDxET}{AT}$$

Onde:

CA = concentração do poluente no ar em µg/$m^{3;}$

EF = frequência de exposição (dias/ano);

ED = duração da exposição (anos);

ET = tempo de exposição (horas/dia);

AT = tempo média de exposição – expectativa de vida (anos);

2.3 Mecanismo de formação de H_2S em estação de tratamento de efluentes

A degradação completa da matéria orgânica na ETE, etapa realizada em reator UASB (reator anaeróbio de fluxo ascendente), por exemplo, decorre da conversão dos sólidos orgânicos mais complexos a um produto sólido (lodo biológico) e a produtos gasosos misturados (biogás), principalmente, metano, gás carbônico e sulfeto de hidrogênio. O processo anaeróbio de decomposição da matéria orgânica é majoritariamente influenciado pela temperatura, uma vez que os microrganismos não possuem mecanismos para regulação da temperatura interna, ou seja, a temperatura do meio influencia a natureza e a velocidade do seu metabolismo (Fernandez et al, 1992). Os compostos orgânicos complexos são degradados por diferentes grupos de microrganismos através de várias reações bioquímicas (fermentações, oxidações e reduções) (VAN HAANDEL e LETTINGA,

1994). O H_2S, por sua vez, é formado a partir da degradação biológica do efluente, através das bactérias redutoras de sulfatos (BRS), o processo de ocorre devido a presença de íons sulfato e grande disponibilidade de matéria orgânica no esgoto doméstico (Mainier, 2005). Pode-se representar a formação do H_2S através da equação a seguir:

$$2\ CH_2O + SO4^{2-} \xrightarrow{BRS} H_2S \uparrow + 2\ HCO_3^-$$

2.4 AMOSTRAGEM DE GASES

O ar pode ser entendido como uma mistura heterogênea de diversos gases e partículas, nos estados líquido, sólido e gasoso. Sua composição química varia tanto no espaço quanto no tempo, portanto a amostragem das substâncias presentes no ar possui um alto grau de complexidade – (SOUZA, 2010).

Pode-se classificar a amostragem de compostos atmosféricos em dois modos:

1) Amostragem ativa: o ar é sugado para dentro do equipamento com o auxílio de uma bomba de vácuo, sendo necessária a utilização de medidores de fluxo para a determinação da taxa de amostragem ou do volume amostrado.

2) Amostragem passiva: trata-se de dispositivos capazes de fixar compostos gasosos ou vapores da atmosfera (filtros), a uma taxa controlada por processos físicos, tais como difusão e permeação, não sendo necessário o uso de bomba ou qualquer outro equipamento semelhante.

Um exemplo de amostradores ativos são os sensores de gás, equipados com bomba de sucção, que podem ser classificados de acordo com seus princípios de funcionamento, sendo eles: sensores térmicos, de massa, óticos e eletroquímicos (Villa et al, 2016)

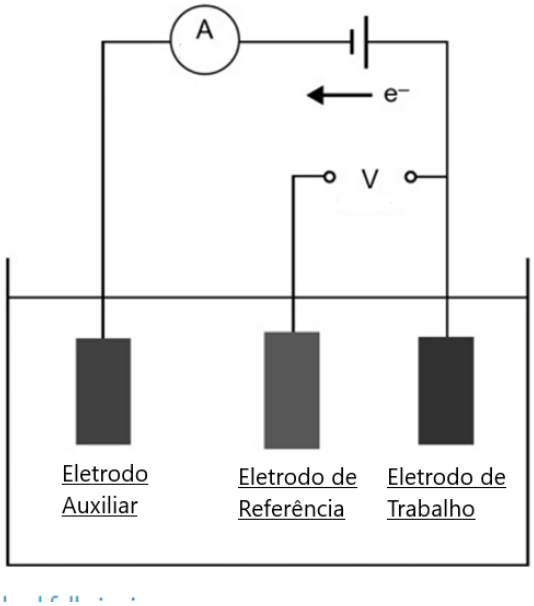
O presente está baseado no uso de sensores eletroquímicos, mais especificamente no sensor eletroquímico amperimétrico, o qual foi utilizado durante a fase de amostragens. Sensores amperimetricos foram identificados como um dos modelos, tecnologicamente, mais promissores para mensurar gases inorgânicos durante o monitoramento da qualidade do ar. Uma das principais vantagens é o baixo consumo de energia que aliado ao baixo peso os torna muito adequados para

utilização em uma ampla variedade de locais urbanos onde o espaço físico e a rede elétrica são restritos. (Fonte)

Sensores amperimetricos são constituídos com células de 2 ou 3 elétrodos, e seu princípio de funcionamento é baseado em uma célula combustível. Os principais gases amostrados por sensores eletroquímicos são: O_2, CO, NO, NO_2, H_2S, além de alguns Covs que também podem ser identificados.

Estes sensores contêm, internamente, três elétrodos: elétrodo de trabalho (ânodo), elétrodo auxiliar (cátodo) e eletrodo de referência, que formam entre si uma célula eletroquímica como mostra a Figura 1.

FIGURA 1 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DA CÉLULA ELETROQUÍMICA DE UM SENSOR AMPERIMETRICO



Fonte: O Autor (2021)

Basicamente, o sensor é divido em 3 partes principais: uma câmara de gás que contém uma membrana seletiva e um filtro químico para controlar a entrada do gás, evitar interferências da umidade e de outros compostos existentes no ar atmosférico; A parte central do sensor é onde se encontra a célula eletroquímica, onde os elétrodos estão imersos em solução eletrolítica. Já a parte posterior do sensor é onde se encontra o reservatório que acomoda as mudanças de concentração no eletrólito devido a presença de umidade e contato os gases reativos. Também nesta parte se encontra a placa eletrônica que faz a leitura da corrente elétrica produzida. Em termos gerais, o gás é succionado pela bomba,

passa pela câmara, é difundido através da membrana seletiva e então entra em contato com a solução eletrolítica, sofre ionização e então reage com as interfaces dos elétrodos do sensor iniciando as reações de oxidação e redução. Como exemplo, segue abaixo um esquema das semi reações de oxirredução, que ocorrem em um sensor amperimétrico de CO:

1 . $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + 2H+ + 2e$
2 . $½ O_2 + 2H+ + 2e \rightarrow H2O$
3. $CO + ½ O_2 \rightarrow CO_2$

A vantagem do uso deste tipo de sensor é a relação linear entre à concentração do gás detectado e a corrente elétrica gerada nesta reação eletroquímica. É possível, portanto, é possível explicitar essa relação através da seguinte expressão:

$$C = I * t/ F * A * D * n, \text{ onde:}$$

C – Concentração do poluente em ppm;
F – Constante de Faraday;
A – Área de superfície do elétrodo
D – Coeficiente de difusão gasosa;
n – número de elétrons;
t – Tempo (s);
I – corrente elétrica detectada;

2.5 CARACTERÍSTICAS DE VÉICULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (DRONE*)*

Os Drones podem ser classificados de acordo com sua estrutura física, conforme o design da fuselagem, tamanho e número de rotores. Estas características determinam os parâmetros de estabilidade, tempo de voo, propulsão, aerodinâmica e capacidade de carga útil. Os modelos mais usuais, encontrados no mercado, contêm quatro ou seis rotores, e o número de rotores garante maior estabilidade de voo e maior carga útil. (Villa et al, 2016).

Russell e colaboradores realizaram um estudo para a Agência Especial Americana (NASA), em 2016, envolvendo cinco aeronaves diferentes, onde os objetivos foram verificar o comportamento dos Drones em um túnel de vento e analisar os efeitos gerados pelas hélices dos rotores com a passagem de ar. A figura 2 representa os testes realizados no modelo da DJI, *phantom 3 standart,* que serão descritos a seguir uma vez que esta aeronave foi utilizada durante a etapa de amostragens deste presente estudo.

FIGURA 2– TESTE EM TUNEL DE VENTO PARA MODELO DJI PHANTOM 3

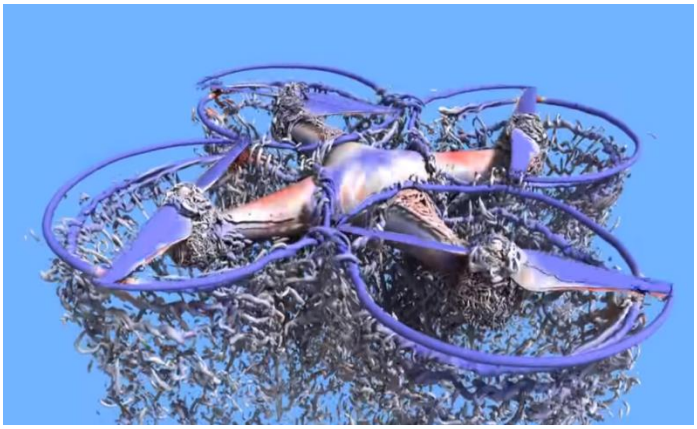
FONTE: NASA (2016)

O Drone foi fixado em um cavalete rígido, com um ângulo de rotação de 90 graus, deste modo foi possível variar o ângulo de ataque formado pelo fluxo de ar gerado pelo túnel. Via de regra, foi possível determinar um ponto na aeronave onde o momento produzido pela força de arrasto do fluxo de ar é próximo de nulo, sendo este ponto coincidente com o centro de gravidade do modelo. Ainda segundo, Russel (2016), para ângulos de ataque positivos o eixo do modelo foi empurrado para trás e em ângulos negativos foi empurrado para frente. Em resumo, estes testes objetivaram identificar as respostas da aeronave frente a diferentes correntes de ar produzidas pelo túnel de vento de acordo com a simetria de disposição dos rotores e estrutura da fuselagem do Drone e os resultados estão de acordo com o esperado.

Analogamente, (Diaz, 2018), produziu um estudo que avaliou a influência do fluxo de ar gerado pelas hélices dos rotores através da modelagem CFD (fluxo dinâmico computacional), que verificaram a existência de um ponto com menor

influência da turbulência produzida pelos rotores no centro da aeronave, essa região pode ser identificada na Figura 3 – ponto de coloração azul.

FIGURA 3- MODELAGEM DAS CORRENTES DE AR GERADAS PELA HÉLICE DO DRONE



FONTE: NASA (2017)

Ainda de acordo com Diaz, a simetria em “X” dos rotores do *phantom 3*, que são construídos em posições diagonais opostas produzem dois torques que se anulam entre si e isto garante maior estabilidade de voo para a aeronave. De modo geral, esta característica permite que o Drone desenvolva um modo de voo estático, onde a aeronave plana sobre o ar através do equilíbrio dos movimentos “upwash” e “downwash”, com baixa rotação das hélices que reduz significativamente os efeitos da turbulência.

2.6 USO DE SENSORES ELETROQUÍMICOS EMBARCADOS

Para que seja possível o uso de *Drones* na área de monitoramento ambiental, utilizam-se sensores e amostradores de gás fixados na fuselagem da aeronave. Existem atualmente empresas especializadas na análise de parâmetros referentes a qualidade do ar com o uso de sensores embarcados. A *Scentroid,* uma empresa canadense, desenvolveu o protótipo *DR1000*, denominado de “laboratório voador”, um modelo de Drone equipado com sensores atmosféricos que realizam medições de temperatura, umidade, material particulado etc. A empresa possui tecnologia capaz de identificar e amostrar aproximadamente 30 tipos de compostos

químicos diferentes, contemplados na lista de parâmetros referentes a qualidade do ar, tais como: CO_2, SO_2, CH_4, H_2S, Material Particulado, entre outros.

Segundo Chapra (1997), quando um gás é lançado na atmosfera ocorre o fenômeno conhecido como dispersão de poluentes, que pode ser compreendido como a variação da concentração dos compostos químicos em função do tempo e do espaço (posição), sendo que a dispersão é principalmente influenciada pela direção e velocidade do vento, bem como pela radiação solar e efeitos da rugosidade do solo que determinam a instabilidade ou estabilidade atmosférica como previsto pelo modelo gaussiano.

Assim, o uso de sensores embarcados representa uma solução dinâmica na amostragem de poluentes, pois é possível adentrar a pluma de gases e acompanhar seu desenvolvimento em relação ao tempo (Villa et al, 2016). Esta abordagem, também permite: a construção de mapas de concentração que visam identificar as áreas poluídas com mais precisão; o aumento da cobertura dos locais afetados; explicita a existência de pontos críticos (concentrações mais elevadas) e o uso de mais sensores que podem ser embarcados no mesmo Drone, portanto torna maior a variabilidade dos compostos identificados. (Alvear et al, 2017).

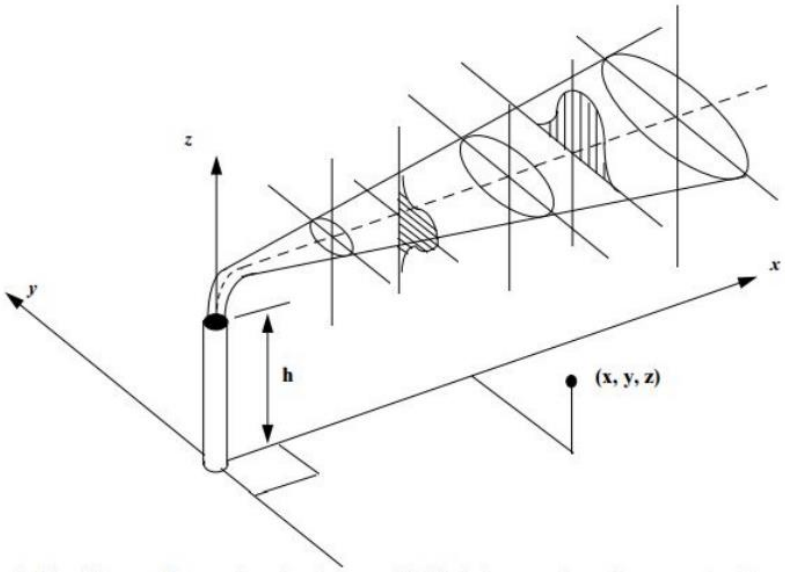
2.7 MODELO DE DISPERSÃO GAUSSIANO

O modelo de dispersão Gaussiano descreve matematicamente os processos de transporte de difusão turbulenta que ocorrem na atmosfera produzida a partir de uma fonte pontual. O modelo permite visualizar o campo de concentração tridimensional gerado por esta fonte sobre condições estacionárias. (Zannetti, 1990)

Segundo Kawano (2000), a formulação deste modelo é baseada nos princípios gaussianos de dispersão, onde a pluma se difunde nos planos horizontais e verticais mantendo a forma de uma curva de Gauss, com o valor máximo no centro da pluma.

Na figura 4, encontra-se a representação do comportamento dispersivo de um poluente na atmosfera segundo o modelo Gaussiano.

FIGURA 4– DISTRIBUIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE UM POLUENTE SEGUNDO MODELO DE GAUSS



Segundo Turner (1994), para que o modelo seja utilizado com eficácia são necessárias as seguintes hipóteses simplificadoras.

- A concentração do poluente deve seguir uma distribuição normal;
- A emissão do poluente é uniforme no tempo;
- A direção e o sentido do vento são constantes no tempo;
- A classe de estabilidade atmosférica é constante no tempo;
- A trajetória da pluma segue a direção predominante do vento;
- A área considerada deve apresentar um terreno plano;
- A emissão do poluente e os parâmetros meteorológicos são constantes;
- O período de análise deve ocorrer entre 10 minutos e 1 hora;

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL DE TESTE DA EFETIVIDADE DO DRONE PARA A AMOSTRAGEM DE H_2S.

A amostragem ocorreu no entorno de uma estação de tratamento de efluentes, na Cidade de Curitiba - PR. Segundo dados do plano municipal de esgotamento sanitário, a ETE é composta por 6 reatores anaeróbios com capacidade de tratar 420 l/s de esgoto doméstico, sendo considerada uma unidade

de grande porte (vazão superior a 200 l/s). Esta ETE é responsável por receber uma parcela significativa do esgoto coletado na Bacia Hidrográfica do Rio Barigui, (trecho de montante). Nesta estação passam aproximadamente 10% do volume de esgoto tratado no município de Curitiba.

A Figura 5 representa uma imagem área da ETE que permitiu identificar precisamente o local onde as amostragens foram estabelecidas. Este dimensionamento espacial é importante visto que a área em que a estação se encontra é cercada por árvores de médio e grande porte, o que dificulta o voo seguro do Drone.

FIGURA 5 - LOCAL DE AMOSTRAGEM – VISÃO AREA

FONTE: O AUTOR (2021)

3.2 EQUIPAMENTOS

DRONE

O modelo utilizado foi *o Phantom 3 Standart*, da Marca DJI, uma aeronave comercial de fácil uso e capaz de suportar o peso dos equipamentos utilizados durante a fase de amostragem. O Drone vem equipado com GPS interno, que atua em tempo real informando sua posição no software instalado previamente em

smartphone. O modelo possui bateria com autonomia de 12 minutos e para facilitar as medições em campo, foram utilizadas 3 baterias extras.

Especificações técnicas:

- Massa da aeronave: 1,2 kg;
- Velocidade de ascensão: 5 m/s;
- Velocidade de deslocamento: 16 m/s.

Além de se tratar de um modelo usual e de fácil obtenção, o *Phantom 3* passou por testes de eficiência realizados pela NASA em 2017, e já foi utilizado em outras pesquisas envolvendo análise da qualidade do ar. (Vreeland, 2018; Villa, 2016; Alvear 2017;). Assim, assumiu-se que este Drone pode ser utilizado neste monitoramento. A figura 5 contém uma representação do modelo utilizado nas amostragens.

FIGURA 6 - PHANTOM 3 STANDART DJI

Fonte: DJI (2015)

SENSOR

O sensor de sulfeto de hidrogênio utilizado neste estudo é o Cairsen versão UART, Figura 6, um sensor eletroquímico amperimétrico que opera com medições na faixa de 0 até 1000 ppb (partes por bilhão, relação entre a massa do poluente com a massa de ar amostrada). Este sensor é produzido na França e segundo o fabricante é calibrado de acordo com a norma padrão AQMS – *Air quality Monitoring system.* E todos os sensores produzidos pela Cairpol acompanham certificado de calibração.

Trata-se de um exemplar em formato cilíndrico e compacto, que opera com alimentação externa com tensão de 5 V e corrente elétrica de 1 A. Possui sensibilidade de 0.1 ppb Possui um visor digital que informa a concentração mensurada a cada 5 segundos. É equipado com filtro de algodão que reduz o contato do sensor com a umidade externa e possui uma bomba que succiona o ar para seu interior para posterior difusão através da membrana seletiva e contato com os elétrodos da célula eletroquímica. O sensor também emite uma corrente elétrica na faixa de 4 a 20 mA, a qual indica o valor concentração do poluente medido, sendo 4 mA corresponde a 0 ppb e 20 mA a 1000 ppb. A leitura desta corrente elétrica é feita por um datalogger (Marca Novus), o qual foi conectado previamente ao sensor. Estes dados ficam armazenados em um cartão de memória existente no interior do datalogger, que possui um software que executa a conversão da corrente elétrica medida com a concentração de H_2S correspondente. Vale ressaltar que para cada composto que será amostrado, deve-se fazer a configuração dos valores de referência dentro do software.

FIGURA 7 – SENSOR *CAIRSEN* PARA H_2S

Fonte: CAIRPOL (2019)

O sensor foi fixado na fuselagem do Drone, conforme a Figura 7, em um ponto previamente determinado (região de menor influência da turbulência produzida pelos rotores), o datalogger foi fixado em uma das laterais da aeronave e *powerbank* responsável pela alimentação do sensor na outra lateral para que fosse preservada a estabilidade de voo. Os cabeamentos foram cuidadosamente fixados ao redor do *phantom 3*, de modo a não alterar sua funcionalidade.

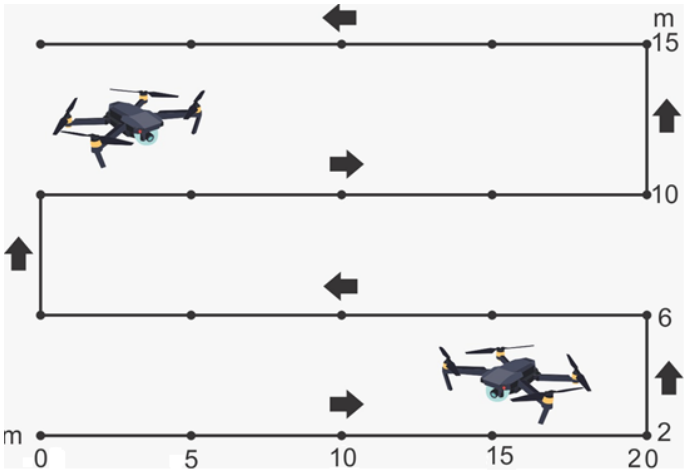
FIGURA 8 – SENSOR EMBARCADO EM *DRONE*

Fonte: O AUTOR (2019)

3.3 PROCEDIMENTO DE AMOSTRAGEM

Esta etapa consiste nas medições em campo. Foi utilizado o aplicativo *litch for phantom 3* instalado em *smartphone.* Este aplicativo permite criar um plano de voo através do sistema de *waypoints* que opera o Drone*,* automaticamente, seguindo a trajetória determinada pelo usuário ao aplicativo. Os voos foram realizados seguindo o modo de operação manual devido a existência de obstáculos (árvores e fios de alta tensão). O plano de voo, (Figura 9), foi desenvolvido para ilustrar a trajetória descrita pelo Drone e teve como base a autonomia de voo da Drone, aproximadamente 12 minutos, onde o objetivo foi cobrir a maior área possível dentro deste tempo e assim quantificar a distribuição de concentração de H_2S.

FIGURA 9– MODELO DA TRAJETÓRIA DESCRITA PELA AERONAVE



Fonte: O Autor (2021)

Ao todo foram feitas doze amostragens ao longo dos meses de outubro e novembro de 2019 e junho, julho e agosto de 2020. A escolha dos dias de amostragem foi feita de modo aleatório e para cada dia obteve-se o relatório dos parâmetros meteorológicos como velocidade e sentido do vento, temperatura e radiação solar, fornecidos pelo INMET. Na Figura 10, é possível visualizar qual região próxima a ETE foi sobrevoada durante a etapa das amostragens

FIGURA 10 – PONTOS DE AMOSTRAGEM REALIZADOS

Fonte: O AUTOR (2021)

A região sobrevoada, indicada na Figura 10, foi considerada o perímetro mais seguro para a realização das amostragens uma vez que os demais espaços

eram cobertos por arvores ou eram próximas demais de residências o que impedia a livre decolagem da aeronave. A área sobrevoada foi dividida em cinco pontos (0, 5, 10, 15, 20 m), ao longo de uma linha (coordenada x) e a coleta de dados ocorreu em quatro alturas (2, 6, 10 e 15 m) em cada ponto correspondente. A aeronave ficou no modo estático sob cada ponto, previamente marcado, pelo período de 30 segundos para registro da concentração. Os intervalos de amostragem foram devidamente registrados, para posterior associação dos dados de acordo com o ponto amostrado, como o sensor mede a concentração em intervalos de 5 segundos, fez-se a média aritmética dos 6 valores de concentração obtidos em cada ponto.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estão descritos nesta seção uma parcela dos dados obtidos nas 12 amostragens realizadas no ano de 2019 e 2020, uma vez que o conjunto total informações produzidas neste estudo é relativamente extensa objetivou-se sintetizar os dados mais relevantes e assim descrever os fenômenos observados de maneira mais precisa. As emissões de H_2S na ETE ocorrem a partir da transferência de massa entre a interface líquido-gás existente na superfície liquida dos tanques de tratamento, e ao longo da estrutura do reator UASB. Para este estudo, além da concentração do poluente, também foram considerados as variáveis meteorológicas como temperatura, radiação solar, velocidade e sentido do vento pois estes parâmetros são fundamentais na dispersão de poluentes gasosos. De Melo e Lisboa (2008)

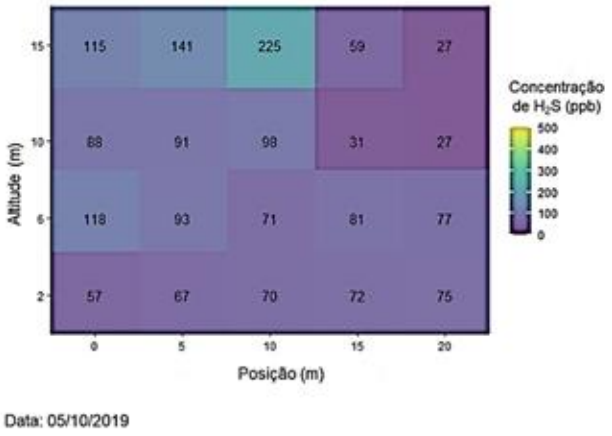
Segundo Gostelow (2002), a velocidade do vento é a principal variável que favorece a dispersão de compostos gasosos em superfícies liquidas, sendo responsável pela formação turbulência que favorece a liberação e transporte do gás odorante para a atmosfera.

Portanto, integrou-se o conjunto de dados meteorológicos (INMET - 2021), para o período amostral afim de que fosse possível inventariar as concentrações de sulfeto de hidrogênio em função das variáveis climáticas e reacionais do Reator Anaeróbio de Leito Ascendente.

Partindo da premissa que as variáveis meteorológicas exercem papel fundamental na dispersão dos poluentes, foram selecionados 6 dias de amostragem separados em dois grupos (1 e 2), de acordo com a estação do ano em que as

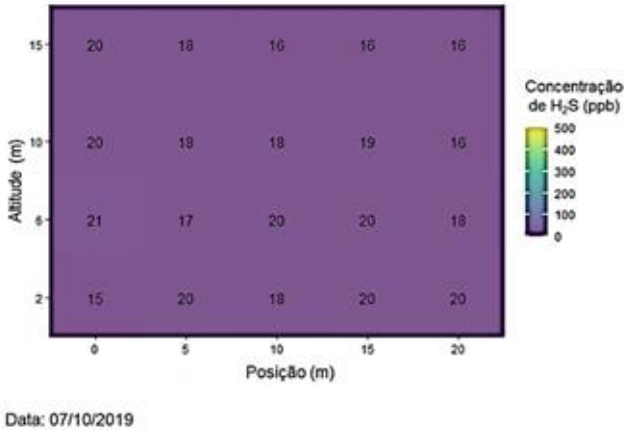
amostragens foram realizadas. Para cada grupo foram compilados os parâmetros meteorológicos correspondentes, onde o grupo 1 é formado pelas amostragens que ocorreram nos dias 05/10/2019, 07/10/2019 e 07/11/2019, (primavera). Já no grupo 2,compostos pelas amostragens dos dias 13/06/2020, 11/07/2020 e 05/08/2020 (inverno). Portanto serão discutidos a seguir quais foram às influências que determinaram os comportamentos de cada grupo. As Figuras 11, 12 e 13 foram criadas para representar as concentrações de cada amostragem e pertencem ao grupo 1.

FIGURA 11 – DIAGRAMA DE CORES PARA REPRESENTAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES AMOSTRADAS EM CADA PONTO PARA O ENSAIO DO DIA 05/10/2019



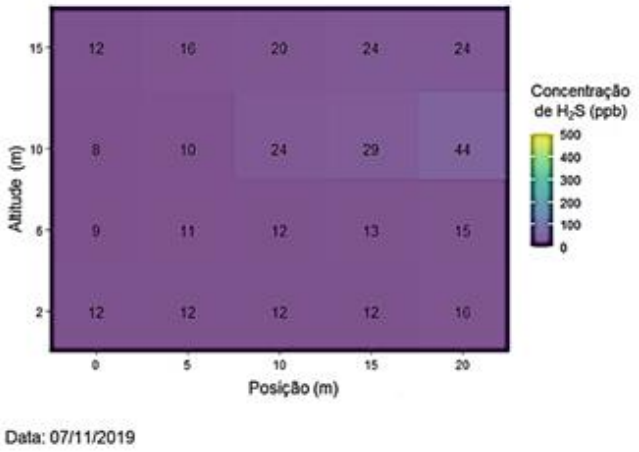
Fonte: O Autor (2021)

FIGURA 12 – DIAGRAMA DE CORES PARA REPRESENTAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES AMOSTRADAS EM CADA PONTOPARA O ENSAIO DO DIA 07/10/2019



Fonte: O Autor (2021)

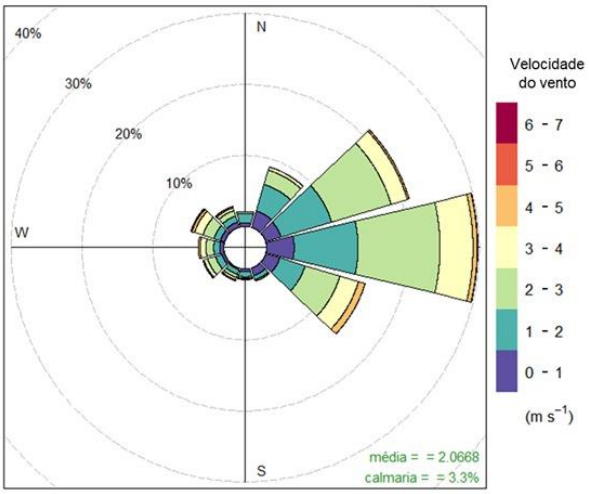
FIGURA 13 – DIAGRAMA DE CORES PARA REPRESENTAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES AMOSTRADAS EM CADA PONTO PARA O ENSAIO DO DIA 07/11/2019



Fonte: O Autor (2021)

Baseado no conceito do modelo de dispersão Gaussiano foi possível compreender como as concentrações de H_2S estavam distribuídas ao longo da área sobrevoada pelo Drone. De acordo com De Melo Lisboa (2008), a maior parte dos efeitos da poluição atmosférica ocorrem na faixa denominada camada limite planetária. Nesta região ocorrem as trocas verticais de momento calor e mistura de massas de ar devido aos efeitos de superfície (Zannetti, 1990). A faixa em que os ensaios de medição do sulfeto de hidrogênio pertencem mais precisamente a *Surface Layer* ou camada de rugosidade, trecho compreendido entre 0 a 100 metros em que os efeitos da superfície como turbulência convectiva, turbulência mecânica e radiação solar são mais intensos. Portanto, para avaliar qual o sentido do deslocamento da pluma de H_2S, foi construída uma rosa dos ventos, Figura 14, para os meses de Outubro e Novembro de 2019, período no qual as amostragens representadas pelo grupo 1 ocorreram. É possível verificar que a predominância dos ventos observada foi de leste (E) com ventos mais fracos de até 4 m/s. Neste mesmo período, ventos mais fortes (superiores a 4 m/s) foram pouco frequentes. Com base nos dados da Figura 14, e com o boletim climatológico fornecido pelo SIMEPAR (2021), para o mesmo período, onde a temperatura média registrada foi de 25º C e ainda segundo De Melo Lisboa (2008) quanto maior a radiação solar em um determinado período maior serão os efeitos da turbulência convectiva sobre a pluma de dispersão. A turbulência na *surface layer*, também poderá ser intensificada pela existência de ventos fortes e moderados (superior a 4 m/s), fator que produz um maior deslocamento da pluma.

FIGURA 14 – ROSA DOS VENTOS PARA O PERIODO AMOSTRAL DO GRUPO 1 – PRIMAVERA 2019

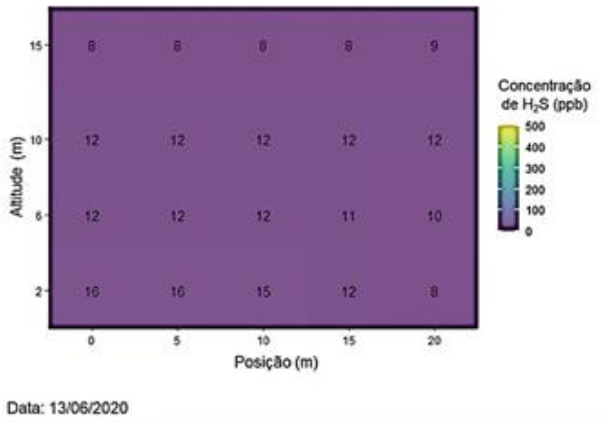


Fonte: O Autor (2021)

Em duas amostragens pertencentes ao grupo 1, representadas pelas figuras 12 e 13, a existência de uma corrente de vento moderado com sentido Leste fez com que a pluma se deslocasse para uma região fora do alcance do sensor, fato que é evidenciado pelas baixas concentrações identificadas neste período. Em contrapartida ao verificar o comportamento descrito pela Figura 11, nota-se um gradiente de concentração maior e uma distribuição heterogênea, tendo um ponto máximo de 225 ppb. Este fato indica que, possivelmente, que a pluma de H_2S estava localizada na região sobrevoada pelo Drone e foi carregada por um vento com sentido Oeste, ou seja, no momento em que as amostragens foram realizadas a corrente de vento se deslocava em sentido oposto ao comportamento preferencial identificado no período.

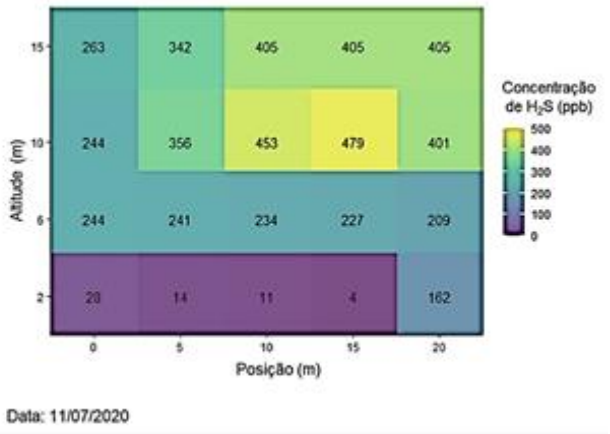
Agora, ao analisarmos a distribuição das concentrações apresentadas pelo grupo 2, figuras 15, 16 e 17, nota-se um comportamento diferente, ou seja, foram identificados valores mais altos de concentração de H_2S nos dias 11/07/2020 e 05/08/2020, além de uma distribuição mais homogênea dos dados, ou seja, a distribuição da concentração de H_2S está centrada em uma região menor no espaço e o poluente esta menos diluído no ar. Portanto, analogamente à discussão anterior, para avaliar quais foram as possíveis causas que produziram estas diferenças, foi construída uma rosa dos ventos, Figura 18, para os meses de Junho, Julho e Agosto de 2020.

FIGURA 15 – DIAGRAMA DE CORES PARA REPRESENTAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES AMOSTRADAS EM CADA PONTO PARA O ENSAIO DO DIA 13/06/2020



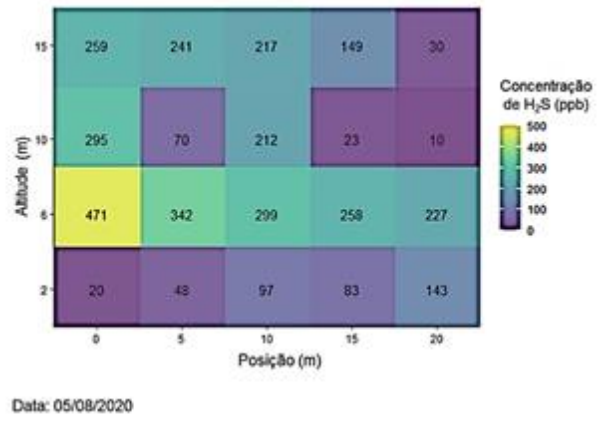
Fonte: O Autor (2021)

FIGURA 16 – DIAGRAMA DE CORES PARA REPRESENTAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES AMOSTRADAS EM CADA PONTO PARA O ENSAIO DO DIA 11/07/2020



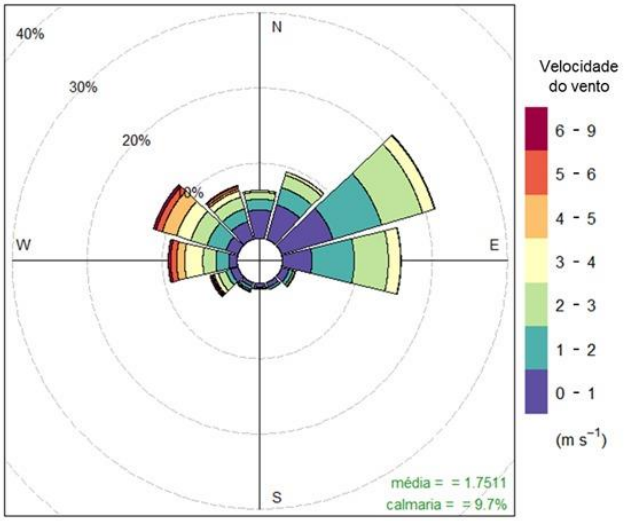
Fonte: O Autor (2021)

FIGURA 17 – DIAGRAMA DE CORES PARA REPRESENTAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES AMOSTRADAS EM CADA PONTO PARA O ENSAIO DO DIA 05/08/2020



Fonte: O Autor (2021)

FIGURA 18 - ROSA DOS VENTOS PARA O PERIODO AMOSTRAL DO GRUPO 2 – INVERNO 2020



Fonte: O Autor (2021)

É possível verificar que a predominância dos ventos observada foi nordeste (NE) com ventos mais fracos de até 4 m/s. Neste mesmo período, ventos mais fortes (superiores a 4 m/s) originados predominantemente a oeste, com destaque para os ventos de noroeste (NW). Com base nos dados da Figura 18, e com o boletim climatológico fornecido pelo SIMEPAR (2021), para período de inverno, onde a temperatura média registrada foi de 15º C. Pode-se justificar esse comportamento da pluma devido à inversão térmica comum neste período, que força com que o poluente fique restrito a uma determinada região mais próxima do solo, onde as turbulências convectivas e mecânicas não são suficientes para dispersar o poluente.

Vale ainda ressaltar, que a formação de H_2S nas ETES deve-se a presença de bactérias que realizam a decomposição da matéria orgânica presente no efluente e a ação dos microrganismos também é impactada pela variação da temperatura. Pois, de acordo com Sperling (1996) as variações de temperatura podem aumentar ou diminuir a atividade microbiana de acordo com a tendência destes organismos à variação.

5.1 CÁLCULO DO FATOR DE RISCO PARA EXPOSIÇÃO CRÔNICA AO H_2S BASEADO AS CONCENTRAÇÕES OBTIDAS A 2 METROS DE ALTITUDE

Para estimar a concentração em que os indivíduos estariam expostos, foram selecionados os maiores e menores valores de concentração identificados pelo sensor a 2 metros de altura.

Para esta etapa é necessária para converter os valores de concentração para (µg/m3), e isto será feito através da expressão a seguir:

$$C'\left(\frac{\mu g}{m3}\right) = \frac{C(ppb)*M*Tabs*par}{22{,}414*Tar*patm} \quad (1)$$

Onde:

C = concentração do poluente no ar em ppb;

M = massa molar de H_2S em g/mol;

Tabs = temperatura absoluta de 273,15 k;

Tar = temperatura do ar no local de amostragem em kelvin

P_{atm} = pressão ao nível do mar em kpa;

Par = pressão do ar no local de amostragem kpa

A equação (1) utilizada para a conversão nesta etapa foi extraída do livro introdução a engenharia ambiental 3 ed [10] e adaptada à análise deste experimento. Os valores de pressão e temperatura são da estação meteorológica da cidade de Curitiba para os dias amostrados, fornecidos pelo INMET (2021).

TABELA 2 – CONCENTRAÇÕES AMOSTRADAS A 2 METROS DE ALTURA

Data	Concentração (ppb)	Concentração (µg/m^3)
05/10/19	75	101
07/10/19	20	29
11/10/19	42	59
18/10/19	44	60
26/10/19	23	33
07/11/19	16	22

14/11/19	43	60
22/11/19	50	69
13/06/20	16	22
11/07/20	162	227
31/07/20	54	77
05/08/20	143	200

Fonte: O Autor (2021)

Estabelecida a concentração em µg/m^3 e com base no sistema de informações de risco (RAIS,2021), desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA) pôde-se estimar o possível risco a saúde para moradores do entorno e trabalhadores da ETE.

Para avaliar os possíveis efeitos da exposição ao H_2S, foram realizadas duas simulações (1 e 2), considerando a maior e a menor concentração descritas na Tabela 4 para duas situações distintas:

- Funcionário da ETE, com jornada de trabalho de 44 horas semanais divididas em 6 dias, período previsto pela CLT (consolidação das leis do trabalho)

- Morador vizinho a ETE (considerado que ele fique no mínimo 12 horas por dia em sua residência, descontando as 8 horas diárias de trabalho, deslocamento e intervalos)

TABELA 3 – PARÂMETROS PARA SIMULAÇÃO 1

Individuo	EF Dias/ano)	ED (Anos)	ET (Horas/dia)	AT (Anos)	CE (mg/m^3)	QR
Trabalhador	250	20	8	70	0,109	54,6
Morador	350	20	12	70	0,052	26

Fonte: O Autor (2019)

TABELA 4 – PARÂMETROS PARA SIMULAÇÃO 2

Individuo	EF (Dias/ano)	ED (Anos)	ET (Horas/dia)	AT (Anos)	CE (mg/m^3)	QR
Trabalhador	250	20	8	70	0,005	2,51
Morador	350	20	12	70	0,0105	5,27

Fonte: O Autor (2019)

Os valores utilizados para construir as Tabelas (5 e 6) foram estimados pela calculadora do fator de risco (RAIS,2021) e podem ser simulados pelo usuário de acordo com as características do indivíduo exposto ao poluente (trabalhador em ambiente interno, externo ou morador).

Considerando a hipótese de que a concentração de H_2S amostrada seja constante durante ano inteiro, para ambas as simulações de máxima e de mínima concentração pode-se afirmar que de acordo com o coeficiente de risco (QR>1) que tanto os moradores quanto os trabalhadores da ETE estão sujeitos a efeitos adversos provenientes da inalação do poluente. De modo que os indivíduos que residem nas proximidades são passiveis a um risco ainda maior, já que o tempo de exposição ao H_2S também é maior. Em períodos de concentração elevada, o risco torna-se 5 vezes maior para os moradores.

Durante a etapa de amostragem, também foram realizadas algumas entrevistas informais com os moradores que residem bem em frente à estação, sendo relatado que existem períodos do dia em que o odor é insuportável, e se faz necessário manter toda a residência fechada para reduzir o incomodo. Ao serem questionados sobre a existência de um período do dia em que o odor é mais intenso, responderam que não havia um horário fixo, ou seja, ocorria tanto no período diurno quanto noturno de maneira sazonal. Os entrevistados foram questionados também sobre a existência de efeitos colaterais, bem como um possível mal estar, todos informaram que já sentiram enjoo, dores de cabeça e até perda de apetite. Estes relatos estão de acordo com a faixa de concentração estabelecida, pois segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) a exposição aguda a níveis de H_2S entre 3 a 50 ppm podem produzir manifestações adversas como dores de cabeça, irritação dos olhos e mucosas, perda de apetite, e em casos mais severos danos ao sistema respiratório.

Com o objetivo de avaliar a eficácia das amostragens realizadas comparou-se os resultados obtidos com um estudo semelhante realizado em duas estações de

tratamento de esgoto existentes na Cidade de Curitiba- PR. Grasel (2014) realizou uma investigação sobre os níveis de H_2S existentes no entorno das ETE's utilizando adsorvedores de gás fixados em alguns pontos próximos a estação. O máximo valor de concentração encontrado em seu trabalho foi de 30 µg/m^3, aproximadamente 3 vezes menor que o máximo valor obtido no presente estudo (93,9 µg/m^3). Grasel também identificou que a população de residentes (moradores) e trabalhadores em ambiente interno estavam sujeitos a efeitos nocivos à saúde devido a exposição ao H_2S.

6 CONCLUSÕES

O monitoramento de gases atmosféricos associados a poluição do ar através de sensores embarcados possui inúmeros desafios, principalmente na escolha da aeronave e do sensor que devem ser compatíveis com o objetivo do estudo. Portanto, é necessário realizar um estudo prévio sobre as características do poluente que será quantificado, bem como deverá existir uma análise criteriosa sobre a fonte de emissão e sobre a área geográfica do local de monitoramento para então definir a metodologia que será adotada (escolha da aeronave, sensor e características do plano de voo).

De modo geral, a partir do ensaio exploratório sobre a concentração espacial de H_2S nas proximidades de uma estação de tratamento de esgoto é possível apontar a existência regiões com altas concentrações do poluente, onde o valor máximo identificado foi de 479 ppb (670 µg/m^3), e ao levar em consideração a simulação realizada no item 5.1, ou seja, com concentração constante o ano todo, produz um índice de inalação crônica segundo a calculadora RAIS (2021), de (0,321 mg/m^3), valor 160 vezes superior ao valor de referência (2.00 x 10^{-3} mg/m^3), limite para qual não se observam efeitos adversos à saúde. Esta concentração foi identificada a 10 metros de altura, faixa onde não há indivíduos expostos, no entanto deve-se levar em consideração que segundo Kawano (2000) a dispersão dos poluentes passa por três fases: emissão, transporte e imissão. Ou seja, uma parcela do poluente emitido pela fonte retornará ao nível do solo o que pode prejudicar a população do entorno que receberá o aporte desta substância. Assim, novos estudos são necessários para estimar o alcance da pluma do poluente, ou seja,

avaliar a quantidade de residências e indivíduos possivelmente afetados pela dispersão do poluente.

Por fim, embora não exista uma legislação ambiental que normatize os valores limite para emissões de H_2S, segundo a resolução CONAMA (2020), qualquer substância que possa tornar o ar impróprio ou que ofereça riscos à saúde pode ser classificada como poluente. Portanto de acordo com o incômodo relatado pelos moradores faz-se necessário a adoção de políticas públicas para mitigação de emissões indesejáveis, bem como é importante a revisão da legislação vigente que preconiza sobre os compostos que são considerados como poluentes atmosféricos.

REFERÊNCIAS

ALVEAR, O.; Zema, N.R.; Natalizio, E.; Calafate, C.T.
Using UAV-Based Systems to Monitor Air Pollution in Areas with Poor Accessibility.
BAAWAIN, et al. Assessment of hydrogen sulfide emission from a sewage treatment plant using AERMOD. 2017.

CAMPOS, V.P.; Cruz L.P.S.; Godoi, R.H.M.; Godoi, A.F.L.; Tavares, T.M. Development and validation of passive samplers for atmospheric monitoring of SO2, NO2, O3 and H2S in tropical areas. Microchemical Journal 96, 2010a, p. 132–138

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 03, de 28 de junho de 1990. Ministério do Meio Ambiente, 1990, 6 p.

CHAPRA, S. C. 1997, Surface water-quality modeling, WCB/McGraw-Hill.

DE MELO LISBOA, H. Controle da poluição atmosférica. UFSC – Cap 8 meteorologia e dispersão atmosférica (pag 3 – 49) - 2008

GRASEL, Anderson Marlon. Determinação de sulfeto de hidrogênio nas proximidades de estações de tratamento de esgoto em Curitiba- Pr, Brasil.2014. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

MACKENZIE, L.D; CORNWELL, D.A;
Introduction to Environmental Engineering: 3ed.WCB/McGraw-hill, 2008. (pag 463)

MCKINNEY, K.A; Et al. A sampler for atmospheric volatile organic compounds by Copter unmanned aerial vehicle. 2018

RAIS - Risk assessment information system. Contaminated media (Risk) calculator. 2019. Disponível em: <http://rais.ornl.gov/cgi-bin/prg/RISK_search?select=chem> Acesso em 10/11/2019.

ROLDAN, J.J.; Joosen, G.; Sanz, D.; Cerro, J.D.; Barrientos, A.;
Mini-UAV based sensory system for measuring environmental variables in greenhouses. 2015

RUSSEL, C.; Jung, J.; Willink, G.; Glasner, B.;
Wind Tunnel and Hover Performance Test Results for Multicopter UAS Vehicles. 2016.

SIMONTON, S.; Spears, M.; Human Health Effects from Exposure to Low-Level Concentrations of Hydrogen Sulfide. 2007

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

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume I. 2011. Disponível em: <http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/human_health_exposure.htm> Acesso em: Novembro, 2019

VILLA, T.F. et al. Development and Validation of a UAV Based System for AirPollution Measurements. 2016.

VILLA, T.F. et al. An Overview of Small Unmanned Aerial Vehicles for Air Quality Measurements: Present Applications and Future Prospectives. 2016

VREELAND, H. et al. Collaborative Efforts to Investigate Emissions From Residential and Municipal Trash Burning in India .2018.

VON SPERLING, M. 2005. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. UFMG

.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – TABELAS PRODUZIDAS A PARTIR DAS CONCENTRAÇÕES AMOSTRADAS EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA (X) E ALTITUDE (Y)

Posição (m)	Altitude (m)	Concentração (ppb)	Concentração (ppb)	Concentração (ppb)	Concentração (ppb)
		05/10/2019	07/10/2019	11/10/2019	18/10/2019
0	2	56,7	15,4	10	43,4
0	6	117	21,4	34,4	35,5
0	10	87,9	19,6	24,2	75,3
0	15	115	20,3	18,4	67
5	2	67,2	19,8	26,3	37
5	6	93,1	17,1	42,6	20,4
5	10	90,9	18,4	60,1	78,9
5	15	140	18,2	43,6	39,2
10	2	70,4	18	42,5	35,8
10	6	70,5	20,1	19,3	27
10	10	98,4	18,1	20,7	92,7
10	15	225	16,1	61,5	67,8
15	2	71,7	20,1	18,2	43,6
15	6	80,8	20,1	41,3	25
15	10	31,3	19,3	11,7	106
15	15	58,8	16,2	18,8	98,6
20	2	74,6	20,1	14,9	40,3
20	6	76,6	17,8	45,4	23,9
20	10	27,2	16,2	20,9	81,6
20	15	27,1	16,2	23,8	98,7

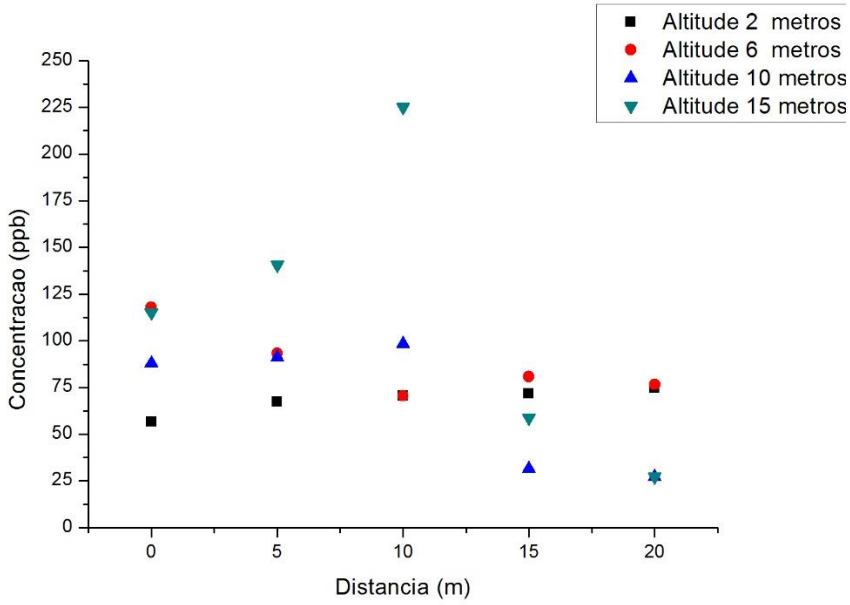
Posição (m)	Altitude (m)	Concentração (ppb)	Concentração (ppb)	Concentração (ppb)	Concentração (ppb)
		26/10/2019	07/11/2019	14/11/2019	22/11/2019
0	2	19,6	11,6	25,1	35,8
0	6	23,5	9,2	43,3	25,8
0	10	39,4	7,9	42,7	23,8
0	15	39,5	11,9	40,5	88,7
5	2	17,6	11,6	25	40,3
5	6	44,4	10,6	43,3	27,7
5	10	39,5	10,4	29,1	65,1
5	15	39,4	15,9	61,8	98,5
10	2	7,9	11,6	27,2	40,5
10	6	28,9	11,9	43,4	27,4
10	10	39,5	23,5	13,1	90
10	15	51,1	19,8	66,9	72,9
15	2	13,75	11,6	42,6	49,6
15	6	28,9	13,2	46,5	25,5
15	10	39,5	28,8	8	70,5
15	15	54,1	23,8	35,5	47,3
20	2	23,5	15,7	39,1	20
20	6	39,5	14,5	42,1	22
20	10	39,5	44,5	7,6	51,4
20	15	60,8	23,8	4,2	43,8

Posição (m)	Altitude (m)	Concentração (ppb)	Concentração (ppb)	Concentração (ppb)	Concentração (ppb)
		13/06/2020	11/07/2020	31/07/2020	05/08/2020
0	2	15,9	27,9	54	19,6
0	6	11,9	243	19,3	470
0	10	11,9	243	20	294
0	15	7,9	263	28,3	258
5	2	15,9	14	23,8	48,2
5	6	12	241	18,2	341
5	10	11,8	356	18,8	69,8
5	15	8	341	31,8	241
10	2	14,8	10,8	20,6	97,3
10	6	12	234	17,1	298
10	10	11,8	453	12,1	212
10	15	8	404	25	217
15	2	11,9	4	17,7	82,7
15	6	11,4	226	15,9	258
15	10	12	479	12,1	23,3
15	15	8,1	404	18,2	148
20	2	7,9	162	16	143
20	6	9,9	209	15,9	226
20	10	11,8	401	10,9	9,6
20	15	9	404	11,4	29,8

Fonte: O Autor (2021

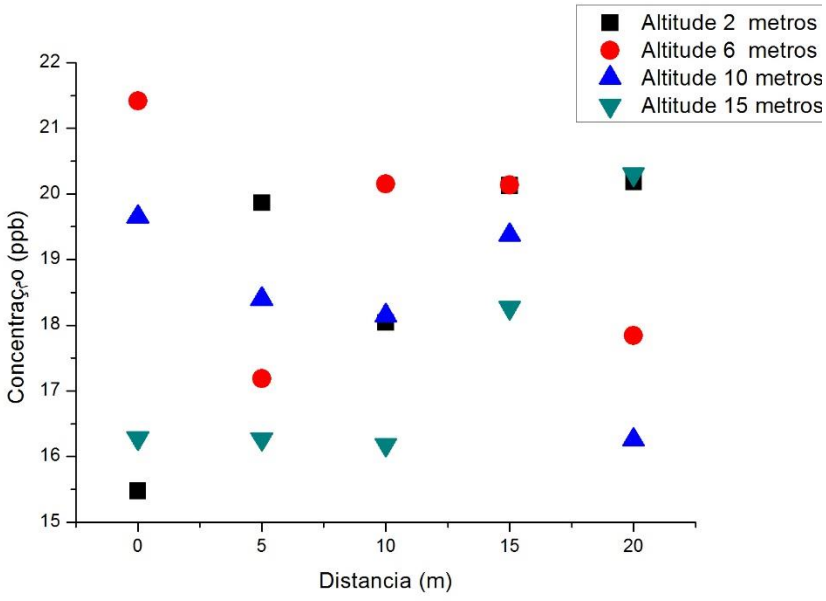
APÊNDICE 2 – GRÁFICOS PRODUZIDOS A PARTIR DAS CONCENTRAÇÕES AMOSTRADAS EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA (X) E ALTITUDE (Y)

Figura 1 – Gráfico das concentrações amostras em função das distancias e altitudes para o dia 05/10/2019



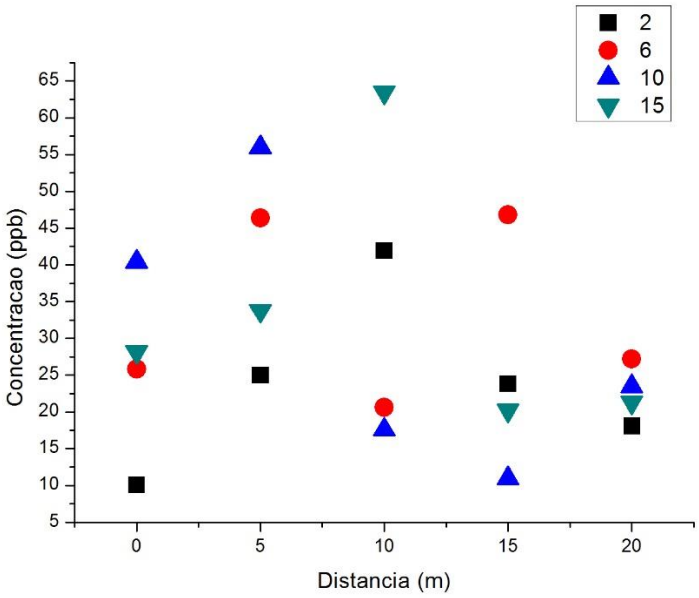
Fonte: O Autor (2021)

Figura 2 – Gráfico das concentrações amostras em função das distancias e altitudes para o dia 07/10/2019



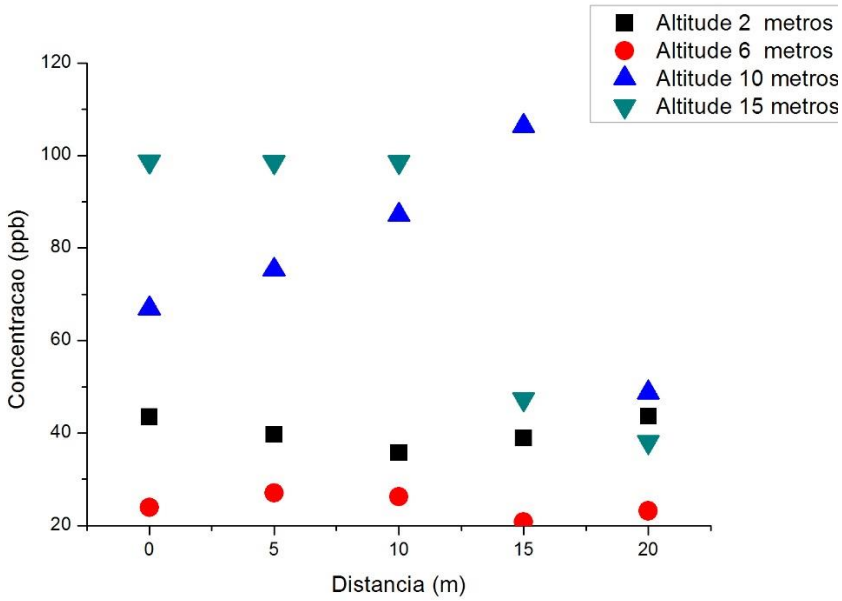
Fonte: O Autor (2021)

Figura 3 – Gráfico das concentrações amostras em função das distancias e altitudes para o dia 11/10/2019



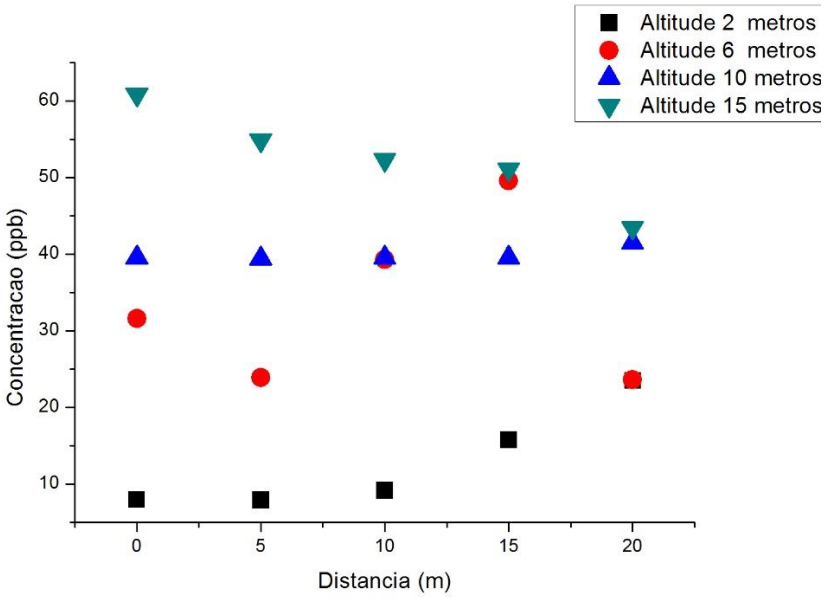
Fonte: O Autor (2021)

Figura 4 – Gráfico das concentrações amostras em função das distancias e altitudes para o dia 18/10/2019



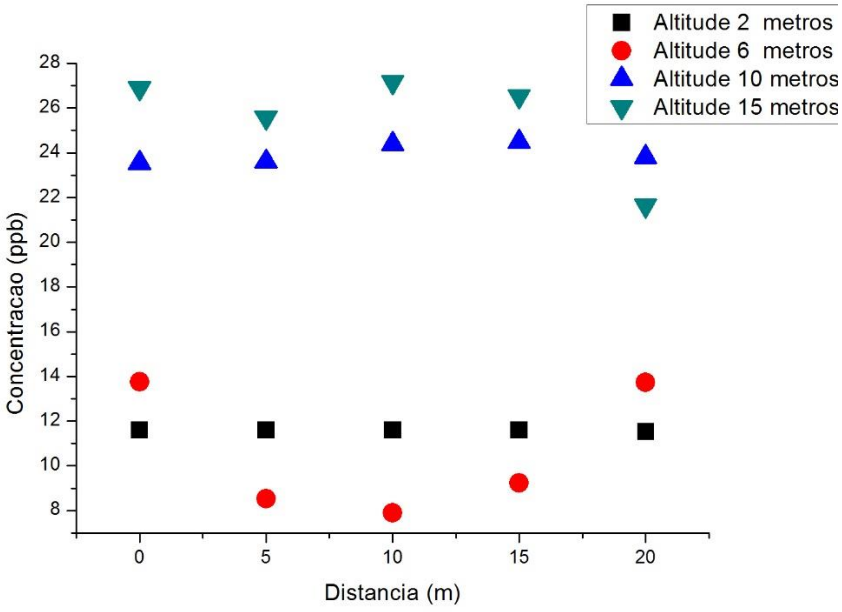
Fonte: O Autor (2021)

Figura 5 – Gráfico das concentrações amostras em função das distancias e altitudes para o dia 26/10/2019



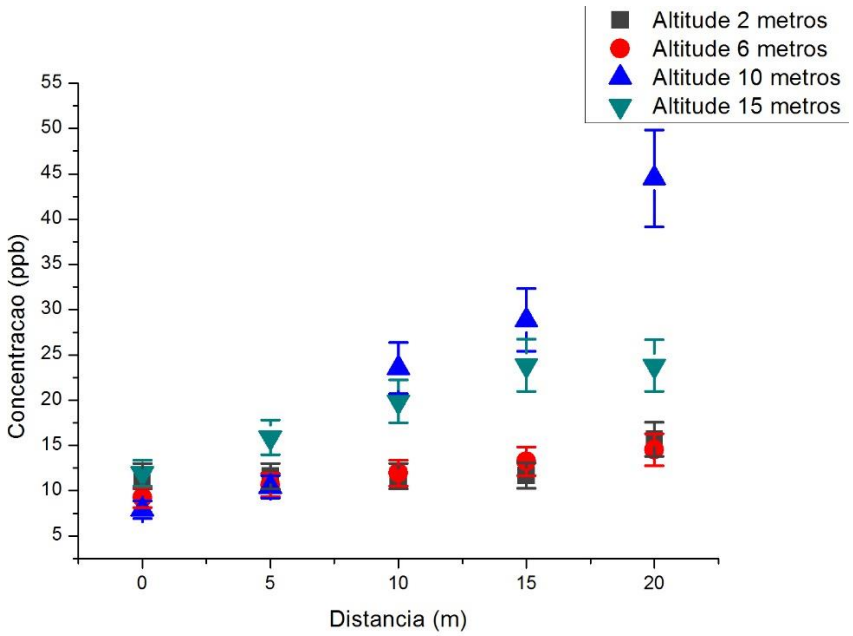
Fonte: O Autor (2021)

Figura 6 – Gráfico das concentrações amostras em função das distancias e altitudes para o dia 07/11/2019



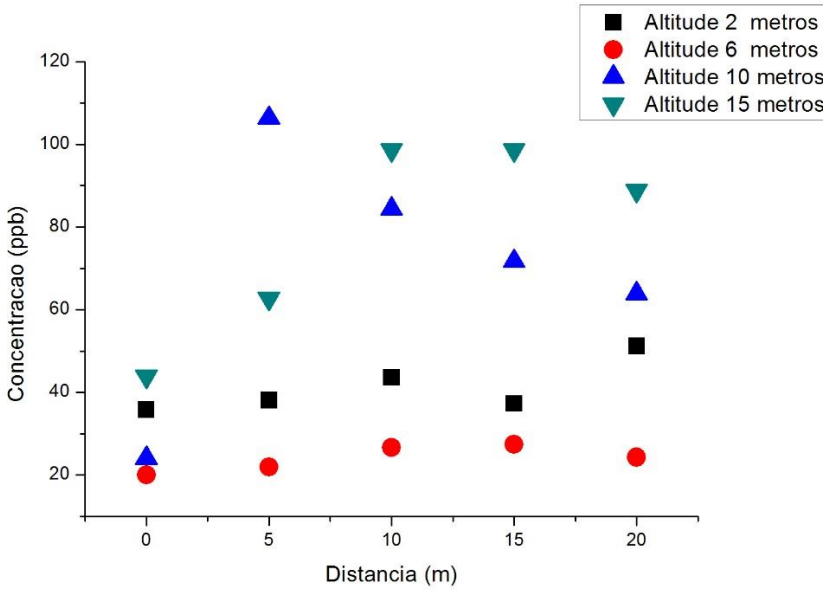
Fonte: O Autor (2021)

Figura 7 – Gráfico das concentrações amostras em função das distancias e altitudes para o dia 14/11/2019



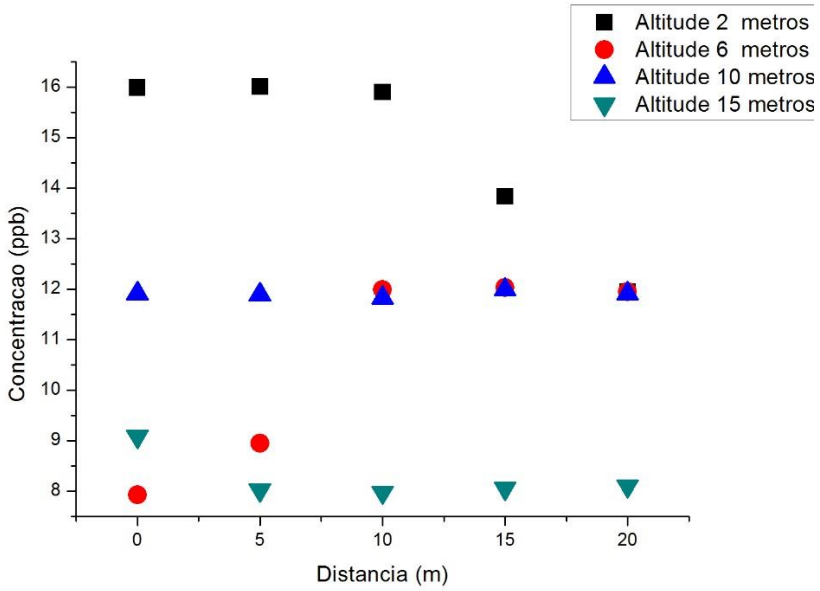
Fonte: O Autor (2021)

Figura 8 – Gráfico das concentrações amostras em função das distancias e altitudes para o dia 22/11/2019



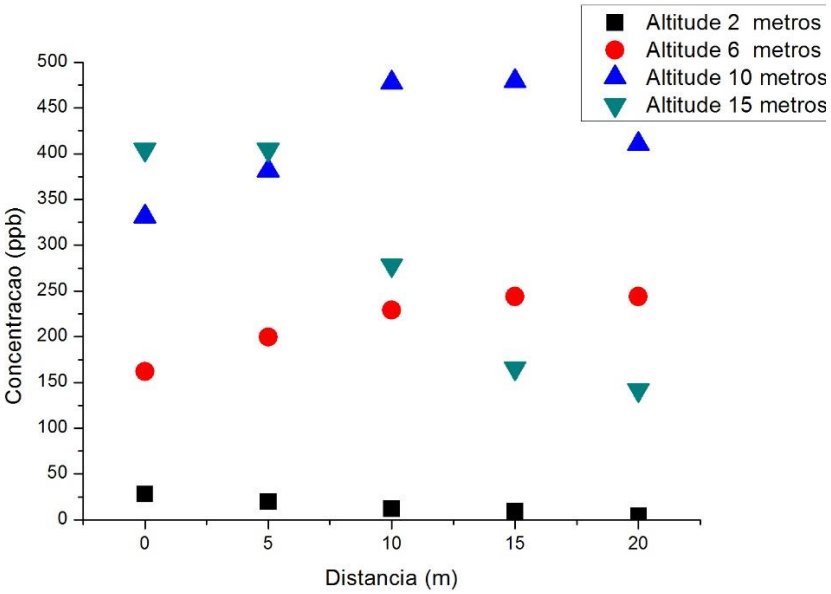
Fonte: O Autor (2021)

Figura 9 – Gráfico das concentrações amostras em função das distancias e altitudes para o dia 13/06/2020



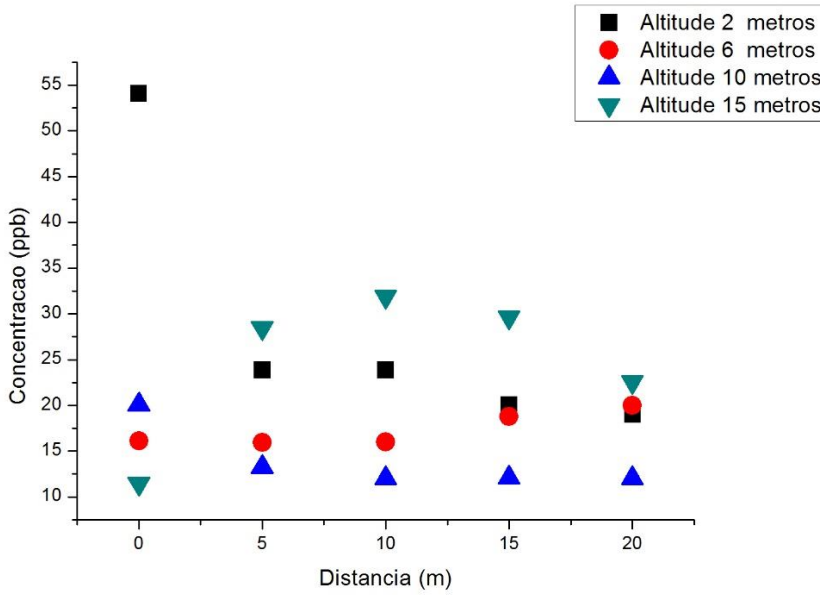
Fonte: O Autor (2021)

Figura 10 – Gráfico das concentrações amostras em função das distancias e altitudes para o dia 11/07/2020



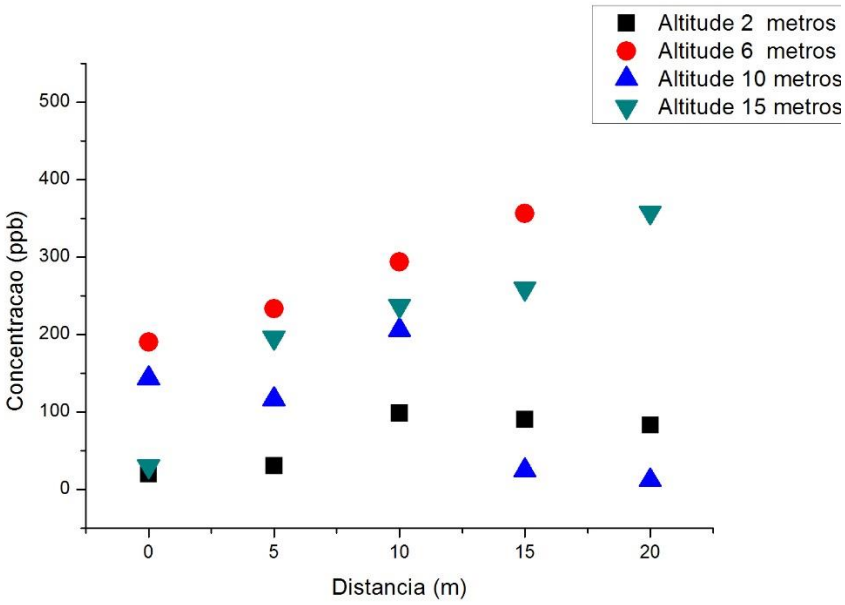
Fonte: O Autor (2021)

Figura 11 – Gráfico das concentrações amostras em função das distancias e altitudes para o dia 31/07/2020



Fonte: O Autor (2021)

Figura 12 – Gráfico das concentrações amostras em função das distancias e altitudes para o dia 05/08/2020



Fonte: O Autor (2021)

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

TERMO DE APROVAÇÃO DE PROJETO FINAL

Eduardo Haro Schneckenberg

Poluição atmosférica: Amostragem de Sulfeto de Hidrogênio em estação de tratamento de efluentes utilizando um Drone.

Projeto Final de Curso, aprovado como requisito parcial para a obtenção do Diploma de Bacharel em Engenharia Ambiental no Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, com nota 91, pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. Ricardo H. M. Godoi
Engenharia Ambiental
Universidade Federal do Paraná - UFPR
e-mail: rhmgodoi@ufpr.br

Orientador(a): _____
Prof. Dr. Ricardo Henrique Moreton Godoi
Departamento de Engenharia Ambiental/ UFPR

Membro(a) 1): _____
Prof. Dra. Ana Flavia Locateli Godoi
Departamento de Engenharia Ambiental/ UFPR

Membro(a) 2: _____
Prof. Dr. Rodrigo Augusto Ferreira de Souza
Escola superior de Tecnologia / Universidade do Estado do Amazonas - UEA

Curitiba, 07 de Abril de 2021