MONITORAMENTO DE GASES ODORÍFEROS EM INDÚSTRIA DE PROCESSAMENTO DE SUBPRODUTOS ANIMAIS: APLICAÇÃO DE DRONES E SENSORES ELETROQUÍMICOS

Daniela Montanari Migliavacca Osório[(1)]
Química e Mestre em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul e Doutora em Ecologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).
Thaisi Tavares de Oliveira[(2)]
Engenheira Agrônoma pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Mestre em Agronomia pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Faculdade de Educação Montenegro e Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Sustentabilidade nos Territórios Semiáridos pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano.
Sérgio Gonçalves Rodrigues dos Reis[(3)]
Engenheiro Químico pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Especialista em qualidade do ar e meteorologia.
Marcio Barreiro de Souza Gonçalves[(4)]
Graduação em Tecnologia da Informação pela Universidade Gama Filho e Pós-Graduação em Gerenciamento de Projetos pela Universidade Veiga de Almeida.

Endereço[(1)]**:** Rua Gotemburgo, 380 – São Cristovão – Rio de Janeiro – Rio de Janeiro - CEP: 20.941-080 - Brasil - Tel: +55 (21) 2224-4909 - e-mail: daniela.migliavacca@ambientalrb.com.

RESUMO

Este estudo aborda a crescente relevância do controle de emissões de odores, uma fonte significativa de poluição atmosférica e desconforto para comunidades adjacentes a processos industriais. O estudo teve como objetivo principal quantificar as concentrações de sulfeto de hidrogênio/metilmercaptanas (H_2S/CH_4S), amônia (NH_3) e compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs) em uma indústria de processamento de subprodutos animais. A metodologia empregou monitoramento contínuo com sensores eletroquímicos de baixo custo (Cairsens/Envea) instalados em pontos internos, externos e embarcados em veículos aéreos não tripulados (drones), coletando dados a cada minuto por três dias. Os resultados indicaram altas concentrações internas e picos significativos em sistemas de controle (biofiltro: 4.450 ppb H_2S/CH_4S; lavador de gases: 5.000 ppb NH_3). Nos pontos externos, H_2S/CH_4S atingiu 46 ppb, superando o limite de 30 ppb da CalEPA, enquanto NH_3 permaneceu abaixo do limite da legislação canadense. Concluindo que a otimização contínua dos sistemas de controle de odores é fundamental para mitigar picos de emissão e garantir a qualidade do ar no entorno. A abordagem inovadora com drones e sensores provou ser eficaz para a identificação de fontes e padrões de dispersão, oferecendo uma ferramenta valiosa para a gestão ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Odores atmosféricos, Qualidade do ar, Veículos aéreos não tripulados, Instrumentação analítica, Processamento de resíduos orgânicos.

INTRODUÇÃO

A qualidade do ar é um componente fundamental para a saúde pública e o equilíbrio ambiental, sendo constantemente desafiada por fontes de poluição de origem natural e, predominantemente, antropogênica (OMS, 2023). Enquanto poluentes atmosféricos clássicos como dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado são amplamente reconhecidos e regulamentados, os gases odoríferos emergem como uma preocupação crescente devido aos seus impactos diretos na qualidade de vida das populações e no bem-estar ambiental (STEINHEIDER; WINNEKE; NEITZKE, 2020; SILVA; PEREIRA, 2022). A percepção de odores desagradáveis, mesmo em concentrações abaixo dos limites de toxicidade, pode desencadear uma série de sintomas adversos, incluindo irritação das vias aéreas, cefaleia, náuseas, alterações de humor e estresse, impactando negativamente a saúde e o conforto das comunidades expostas (SHUSTERMAN, 2017; COSTA; ALMEIDA, 2021).

A complexidade do monitoramento de odores reside na sua natureza subjetiva e na variabilidade da percepção olfativa humana, que é influenciada por fatores individuais e ambientais (CAPURRO et al., 2012). No entanto, a crescente demanda por ambientes mais saudáveis e a intensificação das reclamações de odor por parte da população têm impulsionado o desenvolvimento de tecnologias avançadas para a identificação e quantificação desses compostos. A ausência de uma legislação federal específica no Brasil para o controle de gases odoríferos, em contraste com abordagens regulatórias adotadas em países como os Estados Unidos, Canadá, Europa, Nova Zelândia, Austrália e Japão, que estabelecem valores-alvo e limites de percepção (CalEPA, 2016; Alberta Environment, 2002; SANTOS; OLIVEIRA, 2020), ressalta a importância de estudos que forneçam dados robustos para subsidiar políticas públicas e ações de mitigação.

Nesse contexto, o avanço tecnológico tem sido crucial para o monitoramento em tempo real de gases odoríferos. Sensores eletroquímicos, por exemplo, destacam-se pela sua capacidade de detectar baixas concentrações de gases como sulfeto de hidrogênio (H_2S), amônia (NH_3) e compostos orgânicos voláteis (COVs) com tempos de resposta rápidos, permitindo a identificação de episódios agudos de odor (NICELL, 2009; FONOLLOSA et al., 2016; RAKOWSKA et al., 2021; GARCIA et al., 2024). Esses dispositivos, frequentemente integrados em sistemas de monitoramento contínuo, oferecem a vantagem de operar de forma autônoma, armazenando dados em intervalos regulares e transmitindo informações para plataformas de análise em tempo real. A sensibilidade desses sensores não é comprometida, mesmo com o emprego de unidades extremamente pequenas, uma vez que a reação de interesse ocorre na região interfacial eletrodo/solução, sendo independente do volume da amostra.

Uma inovação significativa no monitoramento ambiental é a integração desses sensores em plataformas aéreas não tripuladas, como os drones. O uso de drones na coleta de dados de gases odoríferos oferece vantagens substanciais em relação aos métodos tradicionais de monitoramento terrestre. Eles permitem o acesso a áreas de difícil alcance, a realização de medições em diferentes altitudes e a cobertura de grandes extensões territoriais de forma eficiente e segura (ZHANG; LIU, 2023; FERREIRA; LIMA, 2022). Essa capacidade de mobilidade e flexibilidade é particularmente valiosa para a caracterização de plumas de odor e a identificação de fontes de emissão elevadas, proporcionando uma compreensão mais abrangente da dispersão dos poluentes no ambiente.

Diante desse cenário, o presente trabalho de monitoramento foi realizado em uma empresa de fabricação de farinha de vísceras e óleo e farinha de penas, localizada na região sudeste do Brasil, no estado de São Paulo. O objetivo principal foi avaliar a emissão de gases odoríferos específicos, como sulfeto de hidrogênio (H_2S), metilmercaptana (CH_4S), amônia (NH_3) e compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs), em pontos estratégicos tanto internos quanto externos à empresa. A utilização de micro sensores embarcados em drones, em conjunto com medições em solo, permitiu uma análise detalhada das concentrações desses gases, visando identificar as principais fontes de emissão e avaliar o impacto da dispersão no entorno da empresa. Este estudo justifica-se pela necessidade de monitorar e controlar a emissão de gases odoríferos, utilizando tecnologias de ponta para garantir a proteção da saúde pública e a minimização dos impactos ambientais e de vizinhança, contribuindo para o avanço do conhecimento e para a proposição de estratégias de gestão de odores mais eficazes.

OBJETIVO

O presente estudo teve como objetivo avaliar a emissão e a dispersão de gases odoríferos (sulfeto de hidrogênio/metilmercaptanas – H_2S/CH_4S, amônia – NH_3 e compostos orgânicos voláteis não-metanos – nmCOVs) em uma indústria de fabricação de farinha de vísceras e óleo e farinha de penas, empregando tecnologias de monitoramento em tempo real, incluindo o uso de sensores eletroquímicos embarcados em drones, e analisar o impacto dessas emissões no ambiente interno e externo da empresa.

METODOLOGIA UTILIZADA

O estudo foi conduzido em uma empresa de fabricação de farinha de vísceras e óleo e farinha de penas, localizada no estado de São Paulo, na região sudeste do Brasil. Esta unidade industrial foi selecionada devido à natureza de seu processo produtivo, que envolve a manipulação de matérias-primas orgânicas e a geração de subprodutos com potencial de emissão de gases odoríferos.

O processo produtivo da empresa inicia-se com a recepção de matérias-primas via tubulações, que são processadas em digestores. Nesses equipamentos, ocorre o cozimento dos produtos não comestíveis por injeção de vapor. Após o cozimento, o material é prensado para separação do óleo, que é centrifugado. A farinha de vísceras é moída, resfriada

e armazenada em silos, enquanto a farinha de penas é hidrolisada em digestores com adição de sangue, secada e também armazenada em silos.

Os gases gerados no processo são direcionados a sistemas de tratamento específicos. Os gases do digestor contínuo de vísceras são encaminhados a um aerocondensador e, posteriormente, a um biofiltro. Já os gases dos digestores por batelada (penas e vísceras) e parte dos gases do secador são conduzidos a um trocador de calor (tipo casco e tubo/torre de resfriamento), passam por um umidificador de gases e são enviados ao biofiltro. O restante dos gases do secador de penas é direcionado a uma torre de lavagem de gases, onde são aplicados produtos neutralizadores de odor. O biofiltro, por sua vez, possui um sistema de umidificação de cavaco e aplicação contínua de neutralizadores para otimizar a eficiência de abatimento dos gases.

Foram monitorados os seguintes gases odoríferos: sulfeto de hidrogênio (H_2S), metilmercaptana (CH_4S), amônia (NH_3) e compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs). Esses compostos foram selecionados por serem os principais responsáveis pelas emanações odoríferas características de indústrias de processamento de subprodutos animais.

As medições foram realizadas utilizando sensores eletroquímicos da marca Envea, modelo Cairsens. Esses sensores operam com base no princípio da oxidação/redução eletroquímica dos gases em contato com um eletrólito, gerando um sinal elétrico proporcional à concentração do gás. Eles permitem a medição automática e contínua, registrando as concentrações em partes por bilhão (ppb) a cada minuto. A Tabela 1 detalha as especificações técnicas dos sensores utilizados.

Tabela 1 - Especificação técnica dos sensores eletroquímicos – Cairsens/Envea.

	H_2S/CH_4S	**NH_3**	**nmCOV**
Faixa de Medição (ppb)	H_2S: 0 a 20.000 CH_4S: 0 a 1.000	0 a 25.000	0 a 16.000
Resolução (ppb)	1		
Precisão	± 5% da faixa de medição		
Tempo de Resposta (T90)	< 60 segundos		
Temperatura de Operação	-20°C a 50°C		
Umidade de Operação	10% a 90% UR (sem condensação).		
Alimentação	tipo de bateria de 4 V		
Interface de Comunicação	USB		

Fonte: elaboração própria, 2025.

Os sensores foram previamente calibrados em laboratório pelo fabricante, utilizando padrões de referência certificados e um sistema de calibração multicomponente para sulfeto de hidrogênio (H_2S), metilmercaptana (CH_4S), amônia (NH_3) e compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs), garantindo a precisão e a confiabilidade das medições.

O monitoramento foi realizado durante um período de três dias consecutivos (07/05 a 09/05), em 20 pontos internos e 5 pontos externos à empresa, além de 3 pontos específicos com o uso de drone. Os pontos foram estrategicamente selecionados com base em uma análise prévia do processo produtivo e na identificação de áreas com potencial de emissão de gases odoríferos (Figura 1).

Figura 1 – Localização dos pontos de monitoramento internos e externos da empresa.



Fonte: elaboração própria, 2025.

As medições em solo foram realizadas com os sensores eletroquímicos instalados em tripés, a uma altura de 1,5 metros do solo, para garantir a representatividade das amostras ao nível da respiração humana. Os sensores foram acondicionados em caixas de proteção projetadas para permitir a livre circulação do ar, ao mesmo tempo em que protegiam os equipamentos de condições climáticas adversas.

Adicionalmente, foram realizadas medições com os sensores de sulfeto de hidrogênio (H_2S), metilmercaptana (CH_4S), amônia (NH_3) e compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs) embarcados em um drone (Figura 2). Essa abordagem permitiu o monitoramento das emissões em pontos elevados, especificamente na saída do lavador de gases e nos exaustores da fábrica de farinhas e óleos e da escaldagem, complementando as medições em solo e fornecendo dados sobre a dispersão vertical dos gases.

Figura 2 - Monitoramento de gases odoríferos com o drone.



Fonte: elaboração própria, 2025.

Os dados foram coletados continuamente, com registro a cada minuto, e armazenados em um *datalogger* integrado aos sensores. Após o período de monitoramento, os dados foram transferidos para um computador para processamento e análise.

A análise dos dados incluiu a determinação das concentrações médias, máximas e mínimas dos gases odoríferos monitorados em cada ponto de amostragem. Foi realizada a identificação de padrões de variação das concentrações ao longo do tempo, incluindo a ocorrência de picos de emissão. Os dados foram submetidos a análises estatísticas para avaliar as diferenças entre as concentrações de gases odoríferos nos diferentes pontos de amostragem.

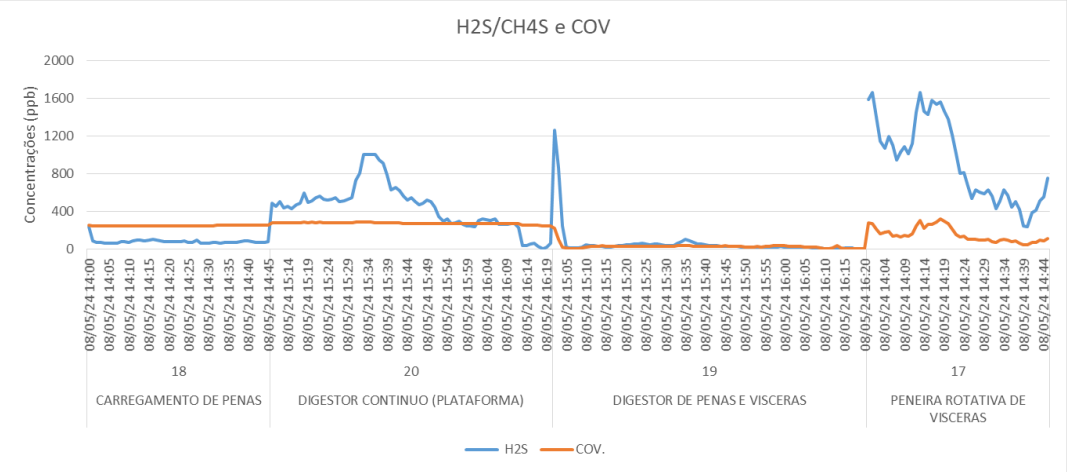
Para uma melhor visualização espacial dos resultados, os valores máximos monitorados de sulfeto de hidrogênio (H_2S), metilmercaptana (CH_4S), amônia (NH_3) e compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs) foram interpolados utilizando o método inverso do quadrado da distância e sobrepostos à imagem aérea da empresa (Figuras 8, 9 e 10). É importante ressaltar que essas interpolações visam apenas a visualização dos valores máximos registrados em cada ponto e não representam a maneira exata como as concentrações se dispersam.

O estudo foi conduzido em conformidade com as normas éticas e ambientais aplicáveis. A empresa do seguimento industrial de processamento de subprodutos animais autorizou e contratou a instalação dos equipamentos de monitoramento em suas instalações. Foi garantido o anonimato dos dados coletados em relação a informações sensíveis da empresa, focando-se apenas nos dados ambientais.

RESULTADOS OBTIDOS

A Figura 3 mostra as concentrações de sulfeto de hidrogênio/metilmercaptanas (H_2S/CH_4S) e compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs) registradas nas áreas do processo produtivo.
As maiores concentrações de sulfeto de hidrogênio/metilmercaptanas (H_2S/CH_4S) foram verificadas no ponto 17, na área de carregamento de penas, onde o valor máximo atingiu 1.659 ppb. Bem como, que a maior concentração de compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs) também foi observada de 317 ppb, no mesmo ponto, correspondente à peneira rotativa de vísceras. Nos demais pontos de medição dentro do processo produtivo, as concentrações de sulfeto de hidrogênio/metilmercaptanas (H_2S/CH_4S) foram inferiores a 10 ppb e 300 ppb, respectivamente.

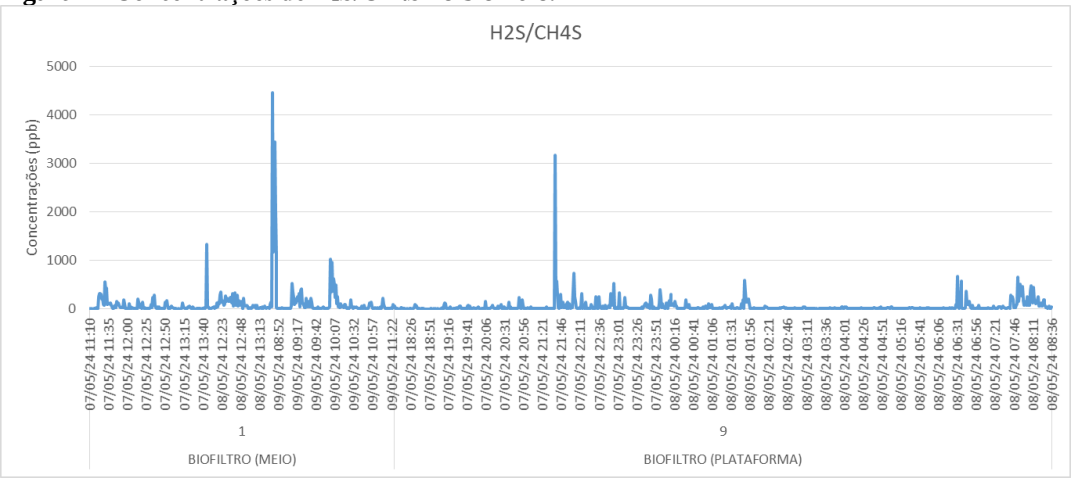
Figura 3 - Concentrações de H2S/CH4S e nmCOV no processo produtivo.



Fonte: elaboração própria, 2025.

No biofiltro observou-se que, na maior parte do tempo, as concentrações de sulfeto de hidrogênio/metilmercaptanas (H_2S/CH_4S) mantiveram-se abaixo de 200 ppb (Figura 4). Contudo, foram registrados picos esporádicos de valores elevados e de curta duração, sendo a maior concentração registrada no biofiltro de 4.450 ppb.

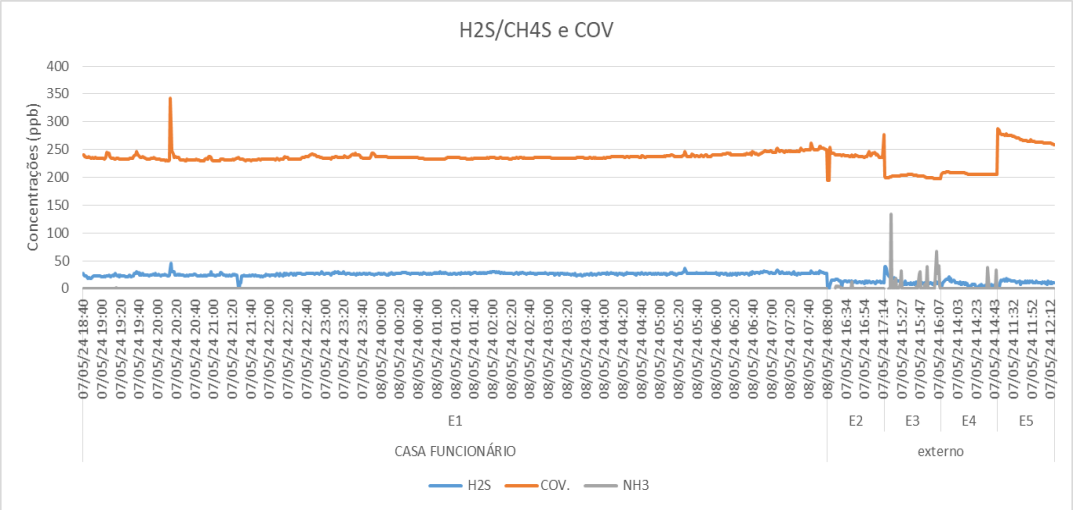
Figura 4 - Concentrações de H_2S/CH_4S no biofiltro.



Fonte: elaboração própria, 2025.

As concentrações de sulfeto de hidrogênio (H_2S)/metilmercaptana (CH_4S), amônia (NH_3) e compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs) registradas nos pontos externos à empresa são apresentadas na Figura 5. A maior concentração de sulfeto de hidrogênio (H_2S)/metilmercaptana (CH_4S) foi de 46 ppb, verificada no ponto E1, com uma concentração média de 26 ppb. Para o compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs), a maior concentração também foi registrada no ponto E1, atingindo um valor máximo de 343 ppb. As concentrações de amônia (NH_3) nos pontos externos foram observadas e verificou-se que pode ter a influência de emissões de outras fontes nas concentrações, como outras empresas próximas e emissão veicular.

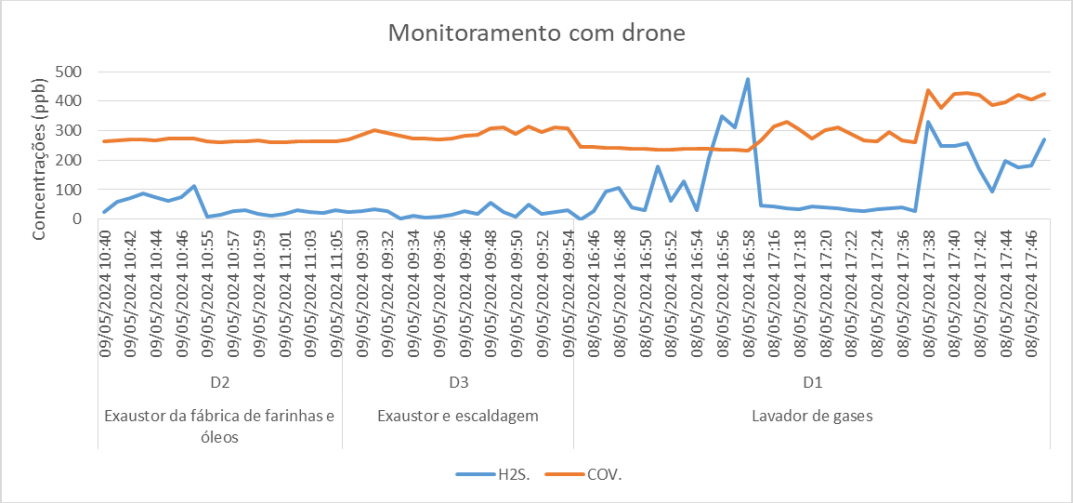
Figura 5 - Concentrações de H_2S/CH_4S, nmCOV e NH_3 nos pontos externos.



Fonte: elaboração própria, 2025.

No monitoramento com drone, ou seja, nos pontos aéreos, encontrou-se as maiores concentrações de sulfeto de hidrogênio (H_2S)/metilmercaptana (CH_4S) e compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs) no lavador de gases com 475 ppb e 438 ppb, respectivamente. Nos exaustores, as concentrações de sulfeto de hidrogênio (H_2S)/metilmercaptana (CH_4S) foram inferiores a 8 ppb e compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs) de 300 ppb. No lavador de gases, os valores médios de sulfeto de hidrogênio (H_2S)/metilmercaptana (CH_4S) foram de 127 ppb e de compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs) variaram entre 300 e 438 ppb.

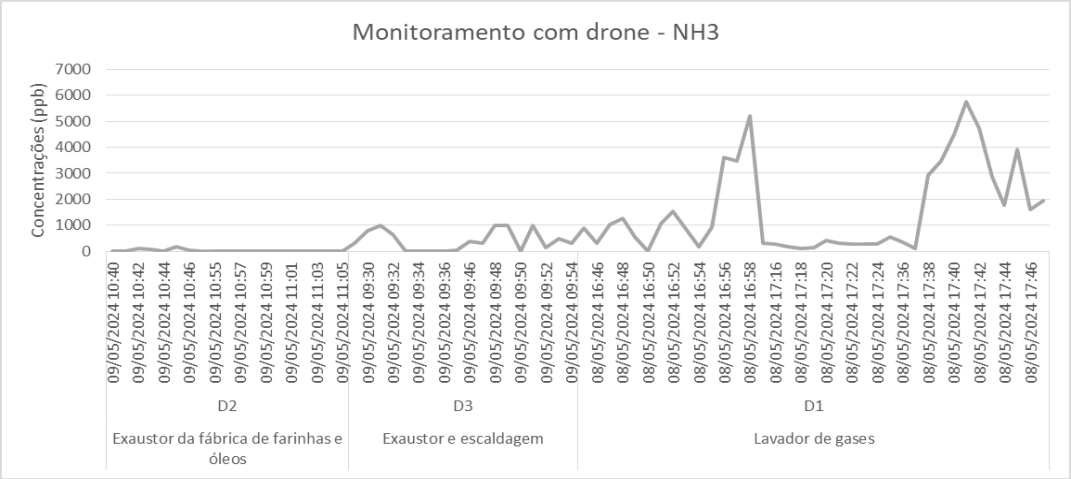
Figura 6 - Concentrações de H2S/CH4S e nmCOV por monitoramento com drone.



Fonte: elaboração própria, 2025.

As maiores concentrações de amônia (NH_3) com 5762 ppb foram registradas na saída do lavador de gases quando comparadas aos exaustores da fábrica de farinhas e óleos e da escaldagem (Figura 7). Observa-se que houveram picos superiores a 5.000 ppb em alguns momentos específicos do mesmo local (Figura 7).

Figura 7 - Concentrações de NH_3 por monitoramento com drone.

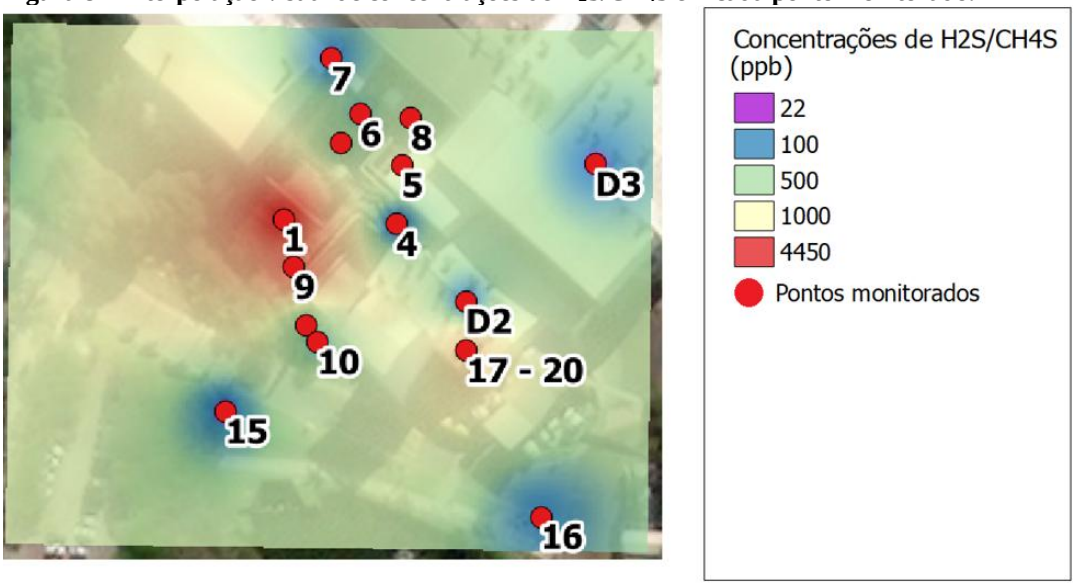


Fonte: elaboração própria, 2025.

Para uma visualização espacial dos dados, os resultados dos valores máximos monitorados de sulfeto de hidrogênio (H_2S)/metilmercaptana (CH_4S), amônia (NH_3) e compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs) foram interpolados utilizando o método inverso do quadrado da distância e sobrepostos à imagem aérea da empresa.

Na Figura 8 observa-se as máximas concentrações de sulfeto de hidrogênio (H_2S)/metilmercaptana (CH_4S) em cada ponto monitorado. Pontualmente, observa-se que essas concentrações foram em ambientes internos do local estudado.

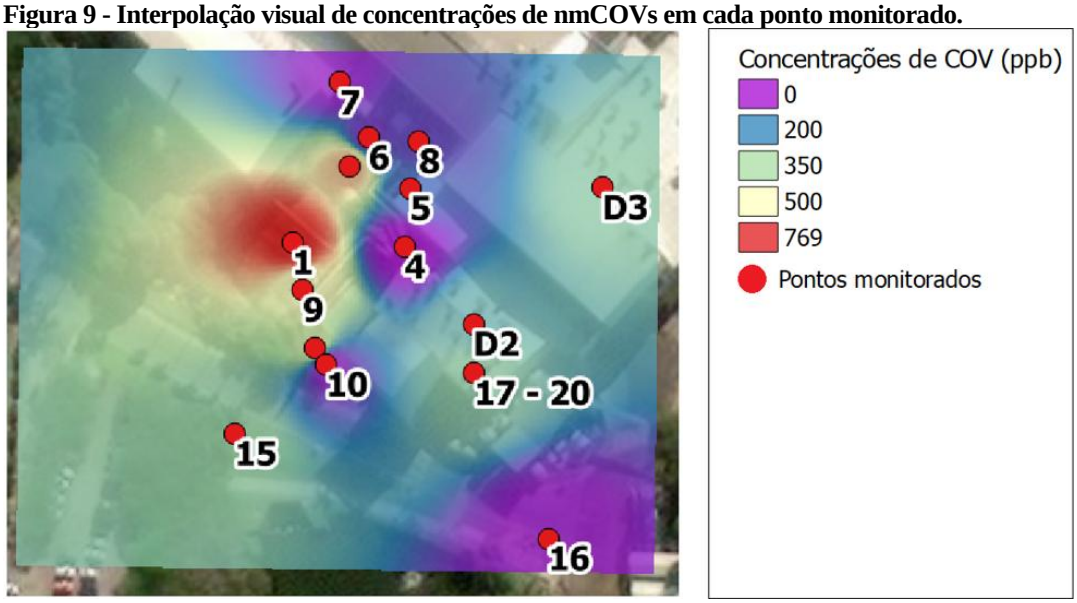
Figura 8 – Interpolação visual de concentrações de H_2S/CH_4S em cada ponto monitorado.



Fonte: elaboração própria, 2025.

Verificou-se para o compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs) (Figura 9) que na maioria dos pontos monitorados as concentrações são baixas, podendo serem consideradas insignificantes, pois se aproximam de zero ppb. Apenas um ponto especifico mais próximo da fonte emissora que houve uma concentração mais elevada.

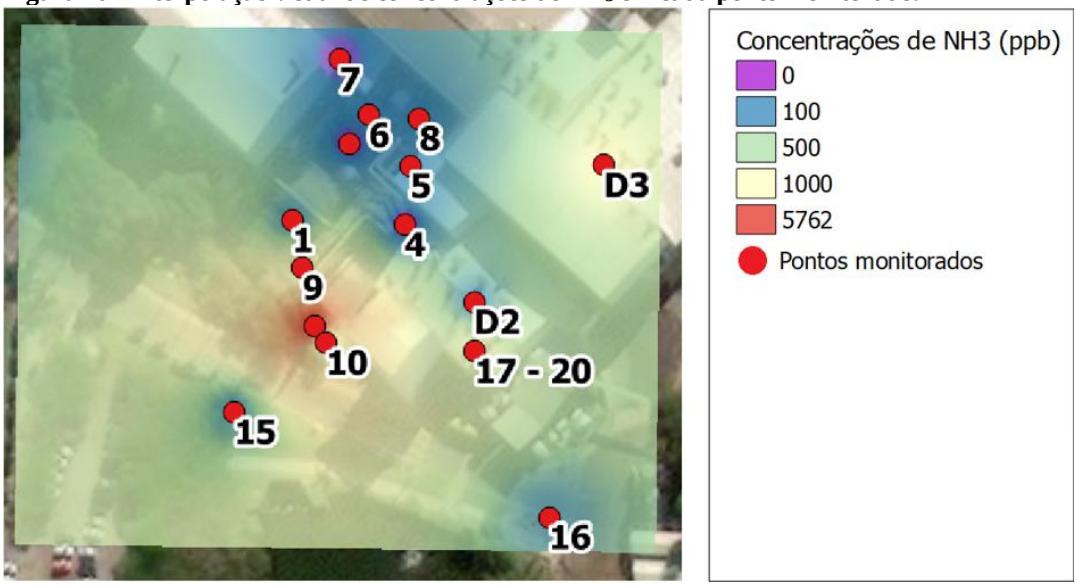
Figura 9 - Interpolação visual de concentrações de nmCOVs em cada ponto monitorado.



Fonte: elaboração própria, 2025.

E quanto as concentrações de amônia (NH_3) (Figura 10), seja em solo ou aéreo, verificou-se a maior concentração foi 5.762 ppb, registrada na saída do lavador de gases, durante o monitoramento com o drone. Nos demais pontos todas as concentrações foram inferiores ao limite de percepção de odor de 2.000 ppb.

Figura 10 - Interpolação visual de concentrações de NH_3 em cada ponto monitorado.



Fonte: elaboração própria, 2025.

É importante salientar que essas figuras de interpolação são apenas para melhor visualização demonstrativa dos valores registrados em cada ponto e não representam a maneira exata como as concentrações se dispersam no ambiente.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise dos resultados do monitoramento de gases odoríferos na empresa de fabricação de farinha de vísceras e óleo e farinha de penas permitiu identificar as principais fontes de emissão e avaliar o impacto de suas concentrações, tanto no ambiente interno quanto no entorno da unidade industrial. A utilização de sensores eletroquímicos de baixo custo, combinada com o monitoramento por drone, demonstrou ser uma metodologia eficaz para a coleta de dados em tempo real e a identificação de pontos críticos de emissão.
As medições realizadas nas áreas de processo produtivo, conforme ilustrado na Figura 3, revelaram concentrações significativas de sulfeto de hidrogênio (H_2S)/metilmercaptana (CH_4S) e compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs). A peneira rotativa de vísceras (Ponto 17) destacou-se como uma fonte relevante de compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs), com uma concentração máxima de 317 ppb. Similarmente, o carregamento de penas (Ponto 17) apresentou a maior concentração de sulfeto de hidrogênio (H_2S)/metilmercaptana (CH_4S), atingindo 1.659 ppb. Essas concentrações elevadas são esperadas em ambientes de processamento de subprodutos animais, dada a natureza das matérias-primas e as reações bioquímicas envolvidas na decomposição e transformação da matéria orgânica (NIOSH, 2019). O National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH, 2019) aponta que indústrias de produção de farinha e óleo de origem animal são caracterizadas pela emissão de uma vasta gama de compostos, incluindo sulfetos orgânicos, dissulfetos, aldeídos, aminas e compostos orgânicos voláteis, o que corrobora os achados deste estudo. Embora as concentrações no interior do "barracão" (galpão industrial, considerado pelo autor) sejam elevadas, as medições em pontos próximos ao "barracão" indicaram um impacto consideravelmente menor no ambiente externo, sugerindo que as emissões do processo produtivo são, em grande parte, contidas internamente.

Os sistemas de controle de odor, como o biofiltro e o lavador de gases, são cruciais para a mitigação das emissões. A análise do biofiltro (Figura 4) mostrou que, embora as concentrações de sulfeto de hidrogênio (H_2S)/metilmercaptana (CH_4S) se mantivessem predominantemente abaixo de 200 ppb, foram observados picos esporádicos de até 4.450 ppb. Esses picos podem indicar variações na carga orgânica, flutuações no fluxo de gases, ou mesmo a necessidade de otimização das condições operacionais do biofiltro, como umidade e pH, que são essenciais para a eficiência da remoção de odores (NICELL, 2009). A magnitude desses picos sugere que o biofiltro, apesar de eficaz na maior parte do tempo, pode apresentar momentos de sobrecarga ou ineficiência que resultam em emissões pontuais elevadas.

Em relação ao lavador de gases, a Figura 7 revelou que a concentração máxima de amônia (NH_3) atingiu ligeiramente mais de 5.000 ppb em alguns momentos. O lavador de gases é a única fonte de emissão significativa de amônia (NH_3) identificada nesse estudo. Para os compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs), o lavador de gases

apresentou valores entre 300 e 438 ppb (Figura 6). A presença de concentrações elevadas na saída desses sistemas de tratamento indica que, embora estejam atuando, há margem para aprimoramento na eficiência de abatimento, especialmente em relação à amônia.

As medições nos pontos externos (Figura 5) são cruciais para avaliar o impacto direto na comunidade vizinha. Para sulfeto de hidrogênio (H_2S)/metilmercaptana (CH_4S), a maior concentração externa foi de 46 ppb no ponto E1, com uma média de 26 ppb. Ao comparar com o limite de controle de 30 ppb para exposição de 1 hora estabelecido pela Agência de Proteção Ambiental da Califórnia (CalEPA, 2016), observa-se que a concentração média de sulfeto de hidrogênio (H_2S)/metilmercaptana (CH_4S) nos pontos externos ficou abaixo desse limite, mas o valor máximo pontual o superou. Isso sugere que, embora a exposição média possa ser aceitável, episódios de picos podem gerar desconforto e reclamações na vizinhança, mesmo que por curtos períodos.

Para a amônia (NH_3), as concentrações nos pontos externos foram inferiores ao limite de percepção de odor de 2.000 ppb estabelecido pela legislação de Alberta, Canadá (Alberta Environment, 2002). Este resultado é positivo, indicando que as emissões de NH_3 da empresa não estão causando impacto olfativo significativo no entorno, de acordo com essa referência internacional.

No caso dos compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs), a maior concentração externa foi de 343 ppb no ponto E1. No entanto, o estudo ressalta a ausência de um limite de concentração em ar ambiente legislado para compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs), o que dificulta uma avaliação direta de conformidade. A complexidade dos compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs), que englobam uma vasta gama de substâncias com diferentes limiares de percepção e efeitos à saúde (ATSDR, 2021; EPA, 2022), torna sua regulamentação um desafio. A possibilidade de influência de outras fontes, como emissões veiculares ou de outras indústrias no entorno, também deve ser considerada na interpretação das concentrações de compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs) nos pontos externos.

As Figuras 8, 9 e 10, que apresentam as máximas concentrações interpoladas, embora não representem modelos de dispersão, são ferramentas visuais importantes para identificar as áreas de maior concentração dos gases monitorados. O uso do drone para medições em pontos elevados, como a saída do lavador de gases e exaustores, complementou as medições em solo, fornecendo uma perspectiva tridimensional das emissões. Essa capacidade de monitoramento em diferentes altitudes é um diferencial, permitindo a identificação de fontes elevadas e a caracterização da pluma de odor, o que é fundamental para a compreensão da dispersão e do impacto em áreas mais distantes (ZHANG; LIU, 2023; FERREIRA; LIMA, 2022).

A complexidade do problema do odor é acentuada pela subjetividade da percepção olfativa humana, que é altamente individualizada e influenciada por fatores emocionais e temporais (CAPURRO et al., 2012). Essa subjetividade torna o estabelecimento de limites regulatórios e a gestão de reclamações um desafio contínuo. A ausência de uma legislação federal específica no Brasil para gases odoríferos, em contraste com a abordagem de outros países, reforça a necessidade de estudos como este para subsidiar a criação de diretrizes e normas que protejam a saúde pública e minimizem o incômodo ambiental.

Em suma, os resultados indicam que, embora a empresa possua sistemas de controle de odor, há pontos de emissão internos com concentrações elevadas e picos esporádicos que podem impactar o entorno. A conformidade com alguns limites internacionais para sulfeto de hidrogênio (H_2S) e amônia (NH_3) é observada na média, mas os picos de sulfeto de hidrogênio (H_2S)/metilmercaptana (CH_4S) e as concentrações de compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs), para os quais não há limite claro, demandam atenção contínua.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**abela 2 apresenta os valores máximos, mínimos e médios registrados em cada ponto de monitoramento para o período avaliado. Os valores em negrito indicam as concentrações máximas que ultrapassagem dos limites de controle de 30 ppb para exposição de 1 hora para sulfeto de hidrogênio (H_2S) estabelecido pela Agência de Proteção Ambiental da Califórnia (CalEPA, 2016) e de 2.000 ppb o limite de percepção de odor estabelecido pela legislação de Alberta, Canadá (Alberta Environment, 2002).

Tabela 2 - Resultados das concentrações nos pontos de monitoramento.

Ponto	Descrição	H_2S/CH_4S (ppb)			nmCOV (ppb)			NH_3 (ppb)		
		Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín
1	Biofiltro (meio)	111	**4450**	0	42	769	0	15	178	0
2	Portaria	15	24	8	251	258	247	28	189	0
3	ETE	74	**519**	3	45	566	0	1	24	0
4	Tridecanter	9	22	2	0	3	0	0	0	0
5	ETE (prox. ao tanque de lodo)	188	**876**	6	50	162	0	10	97	0
6	Em cima do tanque de equalização	55	**353**	4	20	78	2	9	95	0
7	Flotador	8	29	0	22	31	16	5	20	0
8	Tanque de lodo quente	114	**622**	1	54	100	24	25	101	0
9	Biofiltro (plataforma)	43	**3167**	0	23	476	0	24	838	0
10	Lavador de gases (base)	4	**282**	0	0	19	0	13	85	0
11	Lagoa 02	19	**31**	6	247	252	239	9	167	0
12	Lagoa 03	11	18	6	241	242	239	0	0	0
13	Área de lavagem dos frangos	15	23	10	239	244	236	14	235	0
14	Entorno das fontes	20	**80**	10	240	245	235	1	92	0
15	Entorno das fontes	24	**31**	0	293	321	0	2	206	0
16	Entorno das fontes	7	**81**	0	11	23	3	118	213	7
17	Peneira rotativa de vísceras	921	**1659**	231	149	317	43	237	937	0
18	Carregamento de penas	77	**235**	58	245	254	239	19	856	0
19	Digestor de penas e vísceras	58	**1262**	0	24	218	0	6	296	0
20	Digestor continuo (plataforma)	440	**1000**	0	270	283	246	6	193	0
E1	Rua Carioba esquina com rua Igurupi	26	**46**	1	237	343	230	0	1	0
E2	Rua Verona	12	17	0	239	277	194	1	12	0
E3	Rua Garova	13	**39**	7	202	205	197	9	134	0
E4	Rua Tocantins	8	21	2	207	210	205	1	38	0
E5	Rua macaúba	12	18	2	268	287	259	0	0	0
D1	Lavador de gases	127	**475**	0	303	438	234	1570	**5762**	15
D2	Exaustor da fábrica de farinhas e óleos	42	**114**	8	266	273	261	24	174	0
D3	Exaustor e escaldagem	23	**56**	2	291	314	270	416	1000	0

Fonte: elaboração própria, 2025.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

As áreas de processo produtivo, notadamente a peneira rotativa de vísceras e o carregamento de penas, foram confirmadas como as principais fontes internas de sulfeto de hidrogênio (H_2S)/metilmercaptana (CH_4S) e compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs). Apesar das elevadas concentrações internas, as medições nos pontos externos adjacentes indicaram uma contenção eficaz das emissões difusas, sugerindo que o impacto primário dessas fontes é restrito ao ambiente operacional.

As concentrações médias de sulfeto de hidrogênio (H_2S)/metilmercaptana (CH_4S) nos pontos externos (26 ppb) situaram-se abaixo do limite de 30 ppb estabelecido pela CalEPA. No entanto, a detecção de picos de 46 ppb indica um potencial para episódios intermitentes de percepção de odor na comunidade, mesmo que a exposição média esteja controlada.

As concentrações de amônia (NH_3) no entorno permaneceram consistentemente abaixo do limite de percepção de 2.000 ppb (Alberta, Canadá), indicando um impacto olfativo mínimo para este composto.

A ausência de um limite regulatório específico para compostos orgânicos voláteis não-metanos (nmCOVs) no Brasil, aliada à complexidade da matriz e à possível influência de fontes externas, dificulta uma avaliação conclusiva do impacto ambiental desses compostos.

Em síntese, os monitoramentos contínuos e aprimorados dos sistemas de controle de odor são essenciais para a gestão eficaz das emissões de empreendimentos industriais dessa natureza. A aplicação de tecnologias avançadas de monitoramento, como os drones, oferece uma perspectiva mais completa e dinâmica do problema, contribuindo para a tomada de decisões mais assertivas e para a minimização do impacto na comunidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). *Toxicological Profile for Volatile Organic Compounds*. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2021.
2. ALBERTA ENVIRONMENT. *Ambient Air Quality Objectives and Guidelines for Alberta*. Edmonton: Alberta Environment, 2002.
3. CalEPA – CALIFORNIA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Odor Thresholds for Selected Odorous Compounds*. Sacramento, CA: CalEPA, 2016.
4. CAPURRO, A. et al. *Odor perception and its impact on human health: a review. Environmental Science & Technology, Washington*, D.C., v. 46, n. 18, p. 9876-9885, 2012.
5. COSTA, L. M.; ALMEIDA, R. P. *Percepção de odores e seus efeitos psicossociais em comunidades urbanas. Revista Brasileira de Saúde Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 123-135, 2021.
6. FERREIRA, P. R.; LIMA, C. A. *Drones como ferramenta de monitoramento ambiental: aplicações e desafios. Engenharia Ambiental e Sanitária*, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 456-468, 2022.
7. FONOLLOSA, J. et al. *Development of a low-cost sensor network for continuous odor monitoring*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SENSORS AND APPLICATIONS, 10., 2016, Barcelona. Proceedings.... Barcelona: IEEE, 2016. p. 1-4.
8. GARCIA, M. S. et al. *Avanços em sensores eletroquímicos para detecção de gases odoríferos. Química Nova*, São Paulo, v. 47, n. 1, p. 100-112, 2024.
9. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). *Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Odorous Compounds in Animal Rendering Facilities. Cincinnati*, OH: NIOSH, 2019.
10. NICELL, J. A. *Odor Control: A Guide for Industry. Boca Raton*: CRC Press, 2009.
11. OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. *Diretrizes de Qualidade do Ar da OMS para Poluentes Particulados, Ozônio, Dióxido de Nitrogênio, Dióxido de Enxofre e Monóxido de Carbono: Atualização Global 2023*. Genebra: OMS, 2023. Disponível em: www.who.int. Acesso em: 1 jun. 2025.

12. RAKOWSKA, A. et al. *Electrochemical sensors for hydrogen sulfide and volatile organic compounds detection: a review. Sensors and Actuators B: Chemical*, Amsterdam, v. 345, p. 130400, 2021.

13. SANTOS, A. C.; OLIVEIRA, B. F. *Legislação e controle de odores: uma análise comparativa internacional. Revista de Direito Ambiental*, São Paulo, v. 25, n. 99, p. 150-165, 2020.

14. SHUSTERMAN, D. *Odor and health: a review of the literature. Journal of Environmental Health*, Denver, v. 79, n. 6, p. 18-25, 2017.

15. SILVA, R. A.; PEREIRA, T. C. *Impactos da poluição odorífera na saúde e bem-estar de comunidades. Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 38, n. 5, p. e00123422, 2022.

16. STEINHEIDER, M.; WINNEKE, G.; NEITZKE, H. P. *Odor annoyance and health complaints: a systematic review. Environmental Research*, New York, v. 188, p. 109789, 2020.

17. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Health Effects of Volatile Organic Compounds.* Washington, D.C.: U.S. EPA, 2022.

18. ZHANG, L.; LIU, Y. *Drone-based air quality monitoring: a review of recent advances. Atmospheric Environment*, Oxford, v. 290, p. 119345, 2023.