



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AMBIENTAL

PATRÍCIA NAZARÉ FERREIRA DOS SANTOS

**MODELAGEM DA DISPERSÃO DE ODOR NO AR
PROVENIENTE DE EFLUENTE TÊXTIL UTILIZANDO O
SOFTWARE AERMOD**

RECIFE-PE
JULHO, 2022

PATRÍCIA NAZARÉ FERREIRA DOS SANTOS

MODELAGEM DA DISPERSÃO DE ODOR NO AR
PROVENIENTE DE EFLUENTE TÊXTIL UTILIZANDO O
SOFTWARE AERMOD

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPEAMB) pela Universidade Federal Rural de Pernambuco para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Área de Concentração: Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente – Gestão Ambiental.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Marilda Nascimento Carvalho

Co-orientador: Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda

Orientador externo: Prof. Dr. Franco Caldas Degrazia

RECIFE-PE
JULHO, 2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S237m Santos, Patrícia Nazaré Ferreira dos
MODELAGEM DA DISPERSÃO DE ODOR NO AR PROVENIENTE DE EFLUENTE TÊXTIL UTILIZANDO O
SOFTWARE AERMOD / Patrícia Nazaré Ferreira dos Santos. - 2022.
48 f. : il.

Orientadora: Marilda Nascimento Carvalho.
Coorientador: Romildo Morant de Holanda.
Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Ambiental, Recife, 2022.

1. AERMOD. 2. Dispersão atmosférica. 3. Efluente têxtil. 4. Odor . 5. Poluição. I. Carvalho, Marilda Nascimento,
orient. II. Holanda, Romildo Morant de, coorient. III. Título

CDD 620.8

PATRÍCIA NAZARÉ FERREIRA DOS SANTOS

MODELAGEM DA DISPERSÃO DE ODOR NO AR
PROVENIENTE DE EFLUENTE TÊXTIL UTILIZANDO O
SOFTWARE AERMOD

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, na Área de Concentração de Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente – Gestão Ambiental.

Aprovada em 29 de Julho de 2022.

Prof.^a Dr.^a Marilda Nascimento Carvalho (Orientadora)
Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda (Co-orientador)
Prof. Dr. Franco Caldas Degrazia (Orientador Externo)

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alex Souza Moraes (Membro Interno)
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Prof. Dr. Marcos Gomes Ghislandi (Membro Externo)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus pela oportunidade que tive de aperfeiçoamento profissional durante o mestrado e pela inspiração e saúde que me permitiram desenvolver este trabalho.

Aos meus pais e meus irmãos pelo apoio e incentivo incondicional aos meus estudos. Ao meu cunhado que colaborou confeccionando a caixa para reator da lâmpada UV. Ao irmão Rosivaldo que sempre que precisei, mesmo em período de feriado, e/ou fim de semana realizou o serviço de transporte até ao laboratório da UFPE.

À Professora Marilda Nascimento Carvalho pela atenção e dedicação na revisão deste trabalho, por aceitar o desafio de introduzir a modelagem na dissertação, e pela confiança em mim depositada.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, especialmente ao Professor Romildo Morant de Holanda por ter tido a ideia e a visão de realizar um estudo da avaliação de impacto ambiental de emissões odorantes em lavanderias e também pela confiança em mim depositada para realizar este trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro em forma de bolsa. Ao apoio técnico prestado pelo Laboratório de Caracterização de Materiais da UACSA, UFRPE e Centro de Energias Renováveis da UFPE, Campus Recife.

Ao Professor Maurício Alves da Motta Sobrinho por ter permitido acesso ao Laboratório de Tratamento de Efluentes no Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco. Às doutorandas Ziani Santana Bandeira de Souza e Maryne Patrícia da Silva por terem compartilhado generosamente o apoio técnico científico, determinante para conclusão deste trabalho.

À equipe técnica do Laboratório de Análises Minerais, Solos e Água (LAMSA)/UFPE: Cristiane Marcelina de Moraes, Romário Silva da Costa, Maria da Conceição Gomes da Silva Andrade, Chesque Cavassano Galvão e Elaine Lins dos Santos Albuquerque, incluindo o colega de turma Brener Felipe Melo Lima Gomes.

Ao Professor Franco Caldas Degrazia pela orientação externa na avaliação da qualidade do ar em lavanderia com a utilização de modelo de dispersão atmosférica de regulação ambiental (AERMOD).

Ao Yankro Guimarães diretor executivo da Odournet Brasil por disponibilizar os sacos de Tedlar para coleta do ar odorante e à Engenheira Thais Luz e equipe pela contribuição indispensável à pesquisa acadêmica com a análise por olfatometria dinâmica.

Aos membros da banca que aceitaram o convite e contribuíram para o melhoramento deste trabalho.

À estagiária da lavanderia Jacqueline da Silva Macêdo e ao proprietário da lavanderia que permitiu que os estudos fossem realizados, assim contribuindo com a pesquisa acadêmica e dando exemplo para outros buscarem a sustentabilidade na região.

SANTOS, Patrícia Nazaré Ferreira dos. **Modelagem da dispersão de odor no ar proveniente de efluente têxtil utilizando o software AERMOD**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2022.

RESUMO

A poluição gerada por emissões gasosas e efluentes industriais constitui um problema para o equilíbrio do meio ambiente e para saúde pública. As indústrias têxteis são consideradas um dos grandes responsáveis pela poluição de rios e atmosférica além do consumo de elevados volumes de água. Este problema se agrava na região semiárida do estado de PE a qual apresenta grande escassez dos recursos hídricos. No Arranjo Produtivo Local (APL) são gerados efluentes com altas taxas de matéria orgânica responsáveis pelo elevado teor odorífero no ar atmosférico, principalmente devido à decomposição anaeróbia gerando compostos de nitrogênio e enxofre. Esses gases odorantes são compostos por uma mistura, sendo o sulfeto de hidrogênio (H₂S) o gás representado na simulação da dispersão de odor. Este trabalho estimou a dispersão de odores no ar utilizando o Software AERMOD aplicando os dados de uma estação de tratamento de água de origem têxtil localizada na região agreste de Pernambuco. As técnicas utilizadas para avaliação da intensidade do odor e de sua dispersão atmosférica foram o método sensorial de olfatometria, combinado com o método de modelagem da dispersão atmosférica AERMOD. As médias encontradas das concentrações anuais em 2019 e 2020 foram de 10 UO/m³. No Brasil, não existe legislação aplicável para substâncias odoríferas, portanto os resultados do estudo são apenas indicativos e sem efeito legal. Estudos de monitoramento da dispersão de gases odoríferos por simulação AERMOD são importantes pois, podem prevenir riscos de inalação de produtos químicos, proteger o meio ambiente e diminuir os custos futuros com a saúde pública.

Palavras Chave: AERMOD; Dispersão atmosférica; Efluente têxtil; Odor; Poluição.

SANTOS, Patrícia Nazaré Ferreira dos. **Modeling of airborne odour dispersion from textile effluents using AERMOD software**. Master Thesis (Master's Program in Environmental Engineering) – Federal Rural University of Pernambuco, Recife, 2022.

ABSTRACT

Pollution generated by gaseous emissions and industrial effluents is a problem for the balance of the environment and for public health. The textile industries are considered one of the major responsible for the pollution of rivers and air, in addition to the consumption of high volumes of water. This problem is aggravated in the semi-arid region of the state of PE, which has a great scarcity of water resources. In the Local Productive Arrangement (APL) effluents with high rates of organic matter are generated, responsible for the high odor content in the atmospheric air, mainly due to anaerobic decomposition generating nitrogen and sulfur compounds. These odorant gases are composed of a mixture, with hydrogen sulfide (H₂S) being the gas represented in the odor dispersion simulation. This work estimated the dispersion of odors in the air using the AERMOD Software by applying data from a water treatment plant of textile origin located in the rural region of Pernambuco. The techniques used to evaluate the intensity of the odor and its atmospheric dispersion were the sensory method of olfactometry, combined with the method of modeling atmospheric dispersion AERMOD. The averages found for annual concentrations in 2019 and 2020 were 10 OU/m³. In Brazil, there is no applicable legislation for odorous substances, so the study results are only indicative and have no legal effect. Monitoring studies on the dispersion of odorous gases by AERMOD simulation are important because they can prevent risks of inhalation of chemicals, protect the environment and reduce future costs to public health.

Keywords: AERMOD; Atmospheric dispersion; Odor; Pollution; Textile effluent.

SUMÁRIO

1 Introdução.....	8
2 Objetivos.....	11
2.1 Objetivo Geral.....	11
2.2 Objetivos Específicos.....	11
3 Revisão da Literatura.....	12
3.1 Poluição das emissões odoríferas.....	12
3.2 Controle de odores de efluente têxtil.....	14
3.2.1 Método físico: purificadores de ar Venturi.....	16
3.2.2 Método químico: fotocatalise heterogênea com TiO ₂	17
3.2.3 Método biológico: biofiltro e enzimas.....	19
3.3 Modelos matemáticos de dispersão atmosférica de odores.....	22
4 Material e Métodos.....	25
4.1 Dados da fonte.....	25
4.2 Método de amostragem e medição de odor.....	26
4.3 Configuração do AERMOD e medição de odor.....	28
4.3.1 Dados meteorológicos.....	29
4.3.2 Dados do terreno.....	30
4.3.3 Receptores sensíveis.....	30
4.3.4 Concentração e contorno da frequência livre de odor.....	30
5 Resultados e Discussão.....	31
5.1 Resultados da análise sensorial da concentração de odor (CO).....	31
5.2 Simulações de dispersão do gás H ₂ S.....	32
5.3 Limiar da concentração do odor (CO) – <i>Threshold</i> em 2019 e 2020.....	38
6 Conclusão	41
7 Referências	42

1 Introdução

Nas últimas décadas os odores provenientes de instalações industriais, como por exemplo, estações de tratamento de águas residuais – ETAR, estão se tornando uma fonte importante de queixas nas vizinhanças. A poluição odorífera, afeta a qualidade do ar, a saúde dos colaboradores da indústria fonte odorífera e da população que reside próximo ao local (GUADALUPE-FERNANDEZ *et al.*, 2021).

Na cidade de Caruaru, localizada no Agreste Pernambuco- Brasil a água do beneficiamento de peças jeans apesar de tratada apresenta cheiro forte e causa mal-estar na vizinhança. Caruaru é a cidade mais populosa do interior de Pernambuco, sua população segundo estimativas do IBGE em 2021, é de 369.343 habitantes (IBGE, 2021).

A avaliação da qualidade do ar, dos níveis de odor, juntamente com os níveis de poluentes odoríferos, são necessários para projetos de controle de odor (DINÇER *et al.*, 2020).

Os principais pontos de emissão dos odores de águas residuais incluem as estações elevatórias (EE), o pré-tratamento, a decantação e a desidratação do lodo (GELINSKI NETO; GELINSKI, 2018). É imprescindível a criação de estratégias tecnológicas para combater as emissões de gases odorantes, devido a exposição humana aos diversos gases oriundos das estações que não recebem um tratamento adequado, que pode ocasionar doenças (GELINSKI NETO; GELINSKI, 2018).

Na gestão ambiental, os modelos são usados para: auxiliar na verificação das tecnologias industriais ou propostas de adequação quanto ao atendimento à legislação vigente; dar suporte a planos de ação para redução de emissões de poluentes; prever impactos de novos empreendimentos; indicar locais para instalação de estações de monitoramento; indicar áreas com maiores concentrações de poluentes que possam acelerar a degradação de materiais, entre outras finalidades (MAIA *et al.*, 2018).

A modelagem matemática da dispersão de poluentes surge como uma ferramenta importante para a gestão da qualidade do ar (MAES; MOORE; HOINASKI, 2019), tornando-se útil para o monitoramento da dispersão de odor na atmosfera. O modelo computacional AERMOD pode ser usado para este fim. No Brasil, dados da emissão e dispersão do gás sulfídrico (H₂S), indicador de odor, produzido durante o tratamento anaeróbico de águas residuárias, foram analisados para alimentar o modelo AERMOD (AUGUSTO *et al.*, 2019).

Segundo Diosey (2008), problemas pontuais (e algumas consequências não intencionais) surgiram ao modelar as emissões dos processos de estação de tratamento de águas usando AERMOD. Estes incluíram: seleção de dados meteorológicos representativos, caracterização das características da superfície, seleção de opções urbanas/rurais, efeito da população urbana na saída do modelo, e efeito da caracterização da fonte nos tempos de execução do modelo. Além de, a própria estação de tratamento de águas residuais possuir uma variedade de tipos de fontes de processo no local, incluindo tanques (“fontes área”), pilhas de controle de odor e construção aberturas (“fontes pontuais”) e portas abertas e açudes (“fontes volume”).

Diferentes tipos de modelos matemáticos, que levam em consideração dados meteorológicos, topográficos e de emissão, podem ser usados para determinar dispersão de odores na atmosfera (CONTI; GUARINO; BACENETTI, 2020). Dentre estes podem ser citados os seguintes modelos: ADMS, AERMOD, AODM, ISC3, AUSPLUME, Stink, CAM, Tropos e SYMOS’97, CALPUFF - *Califórnia Puff Model* (DINÇER *et al.*, 2020; SOUZA, 2014; AUGUSTO *et al.*, 2019). Esses modelos não requerem muitos dados de entrada, são mais fáceis de usar e requerem menos poder computacional. A principal vantagem do AERMOD sobre os modelos anteriores é a parametrização da dispersão (PATTON *et al.*, 2017); no entanto, requer mais informações meteorológicas disponíveis, pois suas previsões são em sua maioria próximas à observação de campo (LANGNER; KLEMM, 2011).

A modelagem da dispersão atmosférica usa equações matemáticas descrevendo a dispersão dos poluentes dentro da pluma (JEONG, 2011). Estes modelos oferecem a possibilidade de simular matematicamente a variação espacial e temporal da concentração de odor no ar e podem fornecer estimativa de níveis de odor em cenários de emissão atuais e futuros, prevendo o impacto atmosférico de uma fonte poluidora (CONTI; GUARINO; BACENETTI, 2020). Portanto, esses modelos são úteis para determinar as distâncias seguras de recuo entre instalações de produção (fazendas, indústrias e estações de tratamento de resíduos) e áreas vizinhas (CONTI; GUARINO; BACENETTI, 2020).

Em levantamentos bibliográficos foram identificados poucos trabalhos significativos em tratamento de odores de efluentes da indústria têxtil. Assim, estudos com diferentes modelos para analisar a distribuição desse poluente em torno da estação de tratamento de água residual (ETAR) são fundamentais.

Os sistemas de monitoramento de odores desenvolvidos na última década, são capazes de rastrear continuamente e em tempo real as emissões de odores e plumas de

várias instalações (LAOR; PARKER; PAJÉ, 2014). O progresso alcançado na padronização do odor permite aos pesquisadores e profissionais lidar com as questões relacionadas à poluição por odores ambientais (LAOR; PARKER; PAJÉ, 2014).

O estudo da dispersão de gases odorantes constitui um instrumento de gerenciamento da qualidade do ar importante para proteção ambiental e para a economia, pois, diminuem os custos com a saúde pública. Os principais tipos de avaliações ambientais utilizando o estudo de dispersão são: previsão dos efeitos da implementação de um plano, programa ou estratégia (ou seja, as chamadas avaliações estratégicas), estudo de impacto ambiental (EIA), bem como análises pós-implementação e auditorias ambientais das instalações e objetos existentes (KULING; SZYŁAK-SZYDŁOWSKI, 2019).

Além de ser um instrumento de gerenciamento, o estudo da dispersão é uma ferramenta muito útil para diversas etapas de licenciamento ambiental, tais como: expansão de uma instalação com fonte odorífera existente ou para uma nova instalação; ou proposta para uso de terras sensíveis próximas às instalações odoríferas existentes; definição das condições de licença de operação; estudo de minimização de impacto de áreas circundante ainda zoneado para uso urbano; monitoramento do odor durante a remediação do local contaminado; determinação das taxas de emissão de odores antes e após atualização da planta para quantificar a redução da emissão e medir a eficiência do tratamento ou modificação do sistema de emissão visando a mitigação dos impactos decorrentes do odor (RANVEER; LATAKE; PAWAR, 2015).

O objetivo deste trabalho é aplicar o modelo matemático de dispersão atmosférica AERMOD como ferramenta para avaliar o impacto odor de uma indústria têxtil localizada no interior de Pernambuco.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

· Estimar a concentração ambiente de sulfeto de hidrogênio (H₂S) a partir da modelagem da poluição odorífera proveniente de efluente têxtil por meio do software AERMOD.

2.2 Objetivos Específicos

- Efetuar simulações no modelo AERMOD a partir de resultados obtidos através das avaliações olfatométricas realizadas pela Odournet;
- Simular a dispersão do odor, estimando sua concentração no entorno da lavanderia de beneficiamento de jeans.

3 Revisão da Literatura

3.1 Poluição das emissões odoríferas

Com o progresso da urbanização, a distância entre áreas residenciais e plantas municipais (por exemplo, estações de tratamento de águas residuais, aterros de resíduos sólidos, plantas de compostagem), vem diminuindo. O cheiro causado pelo tratamento de águas residuais pode causar um impacto negativo na vida da comunidade. Ao longo da última década a poluição do ar por emissões odorantes tornou-se alvo de frequentes queixas de desconforto ambiental, assim vem ocorrendo um aumento no número de queixas de residentes sobre a poluição odorífera adjacente a estações de tratamento de águas residuais e ao polo industrial (LEWKOWSKA *et al.*, 2016; PIRINGER; SCHAUBERGER, 2020).

A poluição por odores é um indicador de mudança ambiental que pode contribuir com impacto o impacto na saúde e bem-estar (RANVEER; LATAKE; PAWAR, 2015). Odores são geralmente classificados como poluentes e estão sujeitos à regulamentação específica por agências ambientais.

Países que regulam emissões de odores utilizam ferramentas de medição e previsão para projetar novas instalações e para avaliar tecnologias de redução de odores nas instalações existentes. A avaliação de odores baseia-se na coleta de amostras de ar na emissão fonte, medição da concentração de odor por meio de olfatométrica e, em seguida, previsão das concentrações de odor em receptores próximos usando modelagem de dispersão atmosférica. Essa abordagem é comumente usada na Europa, Israel, Austrália, Nova Zelândia e certas regiões do Canadá (BRANCHER; MELO LISBOA, 2014; LAOR; PARKER; PAJÉ, 2014). Assim, o monitoramento adequado juntamente com ferramentas para regulação são instrumentos necessários para mitigar e minimizar os impactos de odores em comunidades (BRANCHER; MELO LISBOA, 2014).

A percepção do odor por humanos está relacionada proporcionalmente ao pico de concentração instantâneo do odorante e não aos valores médios de concentração. Ou seja, o cheiro (sensação) do odor está relacionado à concentração momentânea (pico) do odor e não aos valores médios da concentração (LATOS *et al.*, 2011). Quando os poluentes odorantes se encontram abaixo do limiar de detecção olfativa, a corrente de poluentes torna-se diluída. No entanto, esses compostos ainda continuam sendo uma ameaça ao meio ambiente (LEWKOWSKA *et al.*, 2016).

Substâncias desodorizantes apesar de aumentarem o nível de satisfação pública, não resolve o problema da poluição ambiental. O desenvolvimento de tecnologias ambientalmente corretas são um apoio para a saúde pública e qualidade do meio ambiente (LEWKOWSKA *et al.*, 2016). Os processos de fotocatalise podem ser apontados como uma solução tecnológica bastante interessante, já que tratam quimicamente os compostos poluentes, transformando os contaminantes em produtos mineralizados (LACEY; SCHIRMER, 2008).

No Brasil, atualmente, não há legislação federal específica que estabeleça limites máximos de impacto ou incômodo odorante baseados em medidas olfatométricas, cada estado brasileiro tem desenvolvido sua própria legislação para o controle da poluição ambiental. No estado de Santa Catarina, a Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009, art. 179 estabelece metodologias e critérios para avaliação de impacto ambiental de emissões odorantes no prazo de um ano. A legislação ambiental relativa à poluição ar no estado de Pernambuco é bastante limitada. Contudo, a Lei nº 16.243, de 13 de setembro de 1996, que institui o Código do Meio Ambiente e do Equilíbrio Ecológico do município de Recife, proíbe no Art. 48 a “emissão de substâncias odoríferas na atmosfera, em quantidades que possam ser perceptíveis fora dos limites de propriedade da fonte emissora”. A nível internacional é crescente a preocupação com essa temática em países como a Holanda, Reino Unido, Áustria, Alemanha, França, Dinamarca e Nova Zelândia, os mesmos já regulamentaram Leis e normas técnicas, definindo metodologias que permitam quantificar a emissão de odores e relacionar estas emissões com o nível de mal-estar que causam às populações (TELLES, 2018; VIEIRA, 2013).

A NR 36, é a Norma Regulamentadora de Segurança e Saúde no Trabalho em Serviços em Empresas de Abate e Processamento de Carnes e Derivados, no item 36.10.13 dispõe que o ambiente onde são realizados procedimentos que provoquem odores fétidos deve ser provido de sistema de exaustão ou outro dispositivo que os minimizem.

Entre os agentes causadores de odores em lavanderia de beneficiamento estão, produtos químicos armazenados em locais incorretos e recebendo exposição de luz solar, produtos químicos utilizados no beneficiamento têxtil lançados no efluente e o lodo. (SIQUEIRA *et al.*, 2017; BRANCHER; MELO LISBOA, 2014, SOUTO, 2017).

Os sistemas de monitoramento de odores, que foram desenvolvidos na última década, são capazes de rastrear continuamente e em tempo real as emissões de odores e plumas de várias instalações (LAOR; PARKER; PAJÉ, 2014). O progresso alcançado na

padronização do odor permite aos pesquisadores e profissionais lidar com as questões relacionadas à poluição por odores ambientais. Melhores práticas disponíveis de amostragem de campo, olfatometria de laboratório e modelagem podem ser aplicadas a ferramentas de quantificação de odores e, assim, minimizar e / ou levar em conta as incertezas intrínsecas a cada ferramenta (LAOR; PARKER; PAJÉ, 2014).

A medição de odor pode ser usada para avaliar uma variedade de situações como: proposta para expansão de uma instalação odorífera existente ou para uma nova instalação; proposta para uso de terras sensíveis pertos de instalações odoríferas existentes; investigação de reclamações ao Departamento de Proteção Ambiental de odores das instalações existentes; definição das condições de licença; estudo de definição de buffer onde o terreno circundante ainda não foi zoneado para uso urbano; avaliação do odor durante a remediação do local contaminado; determinação das taxas de emissão de odores antes e depois de uma atualização da planta para quantificar a redução da emissão (RANVEER; LATAKE; PAWAR, 2015).

Aromas fortes, desagradáveis ou ofensivos podem interferir no bem-estar de uma pessoa, especialmente se forem frequentes e/ou persistentes. Os principais fatores relevantes para o incômodo percebido de odor são: Ofensiva duração de exposição ao dor; Frequência de ocorrência dos odores; Tolerância e expectativa do receptor (RANVEER; LATAKE; PAWAR, 2015).

As fontes de odor podem ser classificadas como: Fontes pontuais: as fontes pontuais são emissões confinadas de aberturas, chaminés e exaustores. Fontes de área: as fontes de área podem não ser confinadas, como estação de tratamento de esgoto, estação de tratamento de águas residuais, aterro de resíduos sólidos, planta de compostagem, lagoas de sedimentação. Fontes de construção: fontes de construção de odores como galpões para porcos e galinhas confinadas. Fontes fugitivas: nesta fonte de odor, as emissões são de natureza fugitiva, como as emissões de odor do leito do solo ou da superfície do biofiltro (RANVEER; LATAKE; PAWAR, 2015).

3.2 Controle de odores de efluente têxtil

As principais fontes emissoras de odores de águas residuais são: redes de coletores, operações de pré-tratamento, decantadores primários, lagoas anaeróbias e decantadores, digestores e sistemas de desidratação de lodo (MANTEIGAS, 2000). Os odores são gerados quando o efluente se torna séptico por causa do tempo excessivo gasto

nos clarificadores. Cada um desses processos unitários pode liberar diferentes compostos odoríferos; assim, são gerados odores indesejáveis (EASTER *et al.*, 2005). A emissão e dispersão do gás sulfídrico é um indicador de odor produzido durante o tratamento anaeróbio de águas residuais (AUGUSTO *et al.*, 2019).

A formação de compostos responsáveis por odores nas águas residuais depende da carga orgânica, da concentração em oxigênio dissolvido, da temperatura, do pH e do tempo de retenção hidráulico do líquido. A libertação para a atmosfera daqueles compostos depende da sua concentração, da área superficial exposta à atmosfera e do grau de turbulência do líquido (MANTEIGAS, 2000).

Os sistemas sanitários e industriais usando reatores anaeróbios do tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) no tratamento anaeróbio de águas residuais são amplamente utilizados no Brasil e no mundo, principalmente por sua vantagem econômica em comparação com um sistema puramente aeróbico. No entanto, a digestão anaeróbia da matéria orgânica pode seguir uma via sulfidogênica, onde o sulfato (SO_4^{2-}) é reduzido a sulfeto de hidrogênio (H_2S), um gás altamente tóxico e com um odor fétido. Este composto é frequentemente encontrado em concentrações nas proximidades de Estações de Recuperação de Recursos Hídricos. Modelos de dispersão e emissão são utilizados com pouca frequência para monitorar o H_2S . A USEPA (*United States Environmental Protection Agency*) considera o AERMOD como um modelo regulatório e sugere sua aplicação em estudos com raio de influência inferior a 50 Km. Duas Estações de Recuperação de Recursos Hídricos no Brasil foram monitoradas utilizando os modelos Água9 e AERMOD (AUGUSTO *et al.*, 2019).

O estudo de Moreno-Silva *et al.* (2020) trata do odor gerado por grande reservatório com problemas semelhantes aos apresentados em estações de tratamento de águas residuais (ETAR). As emissões do bueiro foram avaliadas usando a velocidade e concentração do gás, levando em consideração a turbulência da descarga de água como fator que aumenta a taxa de emissão de H_2S .

Existem duas estratégias para controlar as emissões de odores em Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR): são (1) prevenção da produção de odores e (2) remoção de compostos odoríferos das emissões. Entre as duas, a prioridade vai para a prevenção da produção de compostos odoríferos. Vários métodos foram desenvolvidos para prevenir a produção de odores, como aumento no potencial de oxirredução; inibição da atividade de bactérias redutoras de sulfeto; remoção química de sulfeto de hidrogênio; aplicação de formaldeído e paraformaldeído para prevenir a produção de sulfeto de

hidrogênio; e uso de células como combustível na inibição do sulfeto de hidrogênio e liberação gradual de oxigênio na fase gasosa usando MgO_2 ou CaO_2 . Além de prevenir compostos odoríferos em ETAR, muitos outros métodos foram introduzidos para remover compostos odoríferos de emissões de ETAR, como métodos: bioquímico (e.g. biofiltros, biolavadores, lodos ativados), químico (e.g. lavadores químicos, oxidação térmica, oxidação catalítica, ozonização, adsorção química), e físico (e.g. condensação, adsorção física e absorção) (TALAIKHOZANI *et al.*, 2016; BRANCHER; MELO LISBOA, 2014).

3.2.1 Método físico: purificadores de ar Venturi

Entre todos os métodos físico-químicos de controle da poluição do ar, os purificadores são basicamente um dos instrumentos mais adequados para coletar poluentes gasosos de uma corrente de ar. Para aumentar a solubilidade de contaminantes pouco solúveis, os depuradores químicos aumentam a superfície máxima de contato entre o ar, água e substâncias químicas para oxidar ou absorver contaminantes. Existem vários tipos de purificadores, purificador de contra-corrente, purificador de fluxo cruzado e Venturi purificador. Os purificadores Venturi possuem partículas com alta eficiência de remoção de gás. Neste sistema, a transformação do solvente líquido em pequenas gotículas fornece uma área de superfície de alta absorção. Após a transferência de poluentes da fase gasosa para a fase líquida (gotículas de solvente), o ar tratado contém um grande número de gotículas contendo contaminantes. Para separar estas gotas, um ciclone pode ser usado. Para a ventilação de redes de águas residuais, lavadores Venturi podem ser altamente candidato de baixo custo. Em muitas indústrias, a aplicação de Purificadores Venturi para tratar gases contaminados tornou-se muito populares, devido a (i) sua simplicidade de construção, (ii) facilidade de uso, (iii) dificuldades operacionais baixas, (iv) eficiência na remoção de contaminantes muito alta, (v) a capacidade de purificar grande volume de ar em pouco tempo considerando o pequeno tamanho do dispositivo, bem como (vi) a capacidade de remover partículas e gases simultaneamente (TALAIKHOZANI *et al.*, 2016).

3.2.2 Método químico: fotocatalise heterogênea com TiO₂

Atualmente, as técnicas empregadas no tratamento efluentes têxteis são baseadas em processos biológicos e físico-químicos, entretanto, diante da escassez dos recursos hídricos, existe a necessidade de desenvolvimento e aplicação de tecnologias mais eficientes no tratamento de águas residuais industriais (RIBEIRO; FERRARI; TAVARES, 2020). As etapas do tratamento de efluentes têxteis mais comumente usadas estão abaixo:

- 1 – Gradeamento: separação dos sólidos;
- 2 – Tanque de equalização: mistura do efluente;
- 3 – Tanque de floculação-coagulação: caixas de decantação;
- 4 – Filtro de areia: separação das partículas menores;
- 5 – Leitões de secagem: momento em que a água tratada é despejada no rio e forma-se um resíduo do *jeans* (no outro tanque), o lodo.

Nas últimas décadas, a fotocatalise heterogênea com uso de óxidos como semicondutores TiO₂ (dióxido de titânio), ZnO (óxido de zinco), WO₃ (trióxido de tungstênio) ativados por luz ultravioleta encontrou interesse de grupos de pesquisa, em particular para a remoção de compostos orgânicos e inorgânicos em fase gasosa e em sistemas aquosos. Entre estes o TiO₂ é o fotocatalisador mais usado com frequência devido à sua forte capacidade oxidativa. O TiO₂ é um composto quimicamente estável, não é caro e não é tóxico (BINAS *et al.*, 2017).

Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) e fotocatalisadores à base de TiO₂ possuem também um efeito biocida, ou seja, funcionam também como agentes de desinfecção *in situ* devido à geração de espécies reativas do oxigênio (ERO), com radical hidroxila (OH) seguido pelo radical superóxido (O₂), radical hidro-peroxil (HO₂) e peróxido de hidrogênio (H₂O₂) sendo responsáveis pela destruição microbiana (BINAS *et al.*, 2017).

O uso da fotocatalise para a descontaminação de ambientes internos normalmente é feita através de um filtro contendo o fotocatalisador, que geralmente está suportado em algum tipo de substrato (e.g. zeólita, material cerâmico triturado, carvão ativado granular) (CURCIO, 2011; BORGES *et al.*, 2016). Já o uso da fotocatalise para a descontaminação de atmosferas de ambientes externos vem sendo muito explorada para a degradação dos mais variados tipos de contaminantes, principalmente os compostos causadores de odor

e os NO_x (óxidos de nitrogênio) emitidos de veículos de combustão interna e também nos mais diversos ambientes (CURCIO, 2011).

A decisão sobre qual alternativa adotar para o controle das emissões odorantes deve resultar de um balanço entre critérios técnicos, econômicos e ambientais, levando-se em consideração os aspectos quantitativos e qualitativos de cada alternativa (CHERNICHARO *et al.*, 2010, p. 230).

A fotocatalise heterogênea pode ser considerada como um método “limpo” para o tratamento de uma grande variedade de poluentes, já que, na maioria dos casos, os compostos poluentes são mineralizados sem haver a formação de subprodutos (QUADROS *et al.*, 2008).

No sistema da fotocatalise heterogênea o catalisador é afixado a um material suporte, colocado em meio ao fluxo de efluente a ser tratado, seja este líquido ou gasoso. A umidade do ar é um fator importante a ser levado em consideração, pois a molécula de água tem um papel fundamental no fornecimento do radical hidroxila ao processo. Um dos aspectos interessantes da técnica é a possibilidade de utilização da luz solar para a ativação do semicondutor TiO₂ (QUADROS *et al.*, 2008).

Entre outras aplicações ambientais desta tecnologia, encontram-se também a desinfecção da água, remediação de resíduos perigosos, e tratamento de efluentes. E as mais comuns são o tratamento da água e do ar, destacando-se a desinfecção e desodorização de correntes de ar com baixas concentrações de poluentes, como em ambientes internos de edifícios residenciais ou comerciais (LACEY; SCHIRMER, 2008).

Numerosos estudos relativos à oxidação fotocatalítica em fase gasosa em escala de laboratório podem ser encontrados na literatura. No entanto, existem poucos estudos tratando de aplicações de tratamento de ar em escala piloto, em condições reais, ou usando radiação solar (PORTELA *et al.*, 2012).

Um dos raros exemplos da aplicação fotocatalise do ar odorante em escala piloto, em condições reais é o reator fotoquímico instalado pela HDN Technik, na Alemanha inicialmente filtra a corrente gasosa odorífera contaminada para remoção de particulados, aerossóis e poeira. Em seguida, a corrente gasosa é irradiada em uma câmara que contém lâmpadas LP-Hg e camadas de catalisador TiO₂ imobilizadas. A vazão tratada pode ser de 100 m³/h a 100.000 m³/h. O reator fotocatalítico contém TiO₂ imobilizado em suporte de titânio (MATSUMOTO, 2019).

A aplicação da oxidação fotocatalítica em fase gasosa para remover poluentes gasosos pode ser limitada em certas condições, como alta umidade ou concentrações

extremamente baixas ou altas de reagentes. A formação de produtos indesejados ou desativação do fotocatalisador também pode ser observada. Nessas situações, o acoplamento de fotocatalise e adsorção pode ser de interesse.

O acoplamento de ambas as tecnologias pode ser realizado em um arranjo tandem, seja instalando uma unidade de adsorção como etapa de pré-concentração, ou usando a adsorção como sistema de backup, onde o adsorvente retém compostos ou subprodutos que não reagiram. Alternativamente, o acoplamento pode ser obtido em uma única etapa por meio de materiais híbridos, tais como adsorventes revestidos com TiO_2 ou incorporados em TiO_2 , onde a capacidade de adsorção aumenta a atividade fotocatalítica e, simultaneamente, uma regeneração fotocatalítica do adsorvente pode ocorrer (PORTELA *et al.*, 2012).

Segundo Portela *et al.* (2012), a combinação de TiO_2 com um suporte adsorvente e um projeto de reator adequado permitiu o uso de um protótipo de reator solar para a eliminação de compostos de enxofre desafiadores do ar de uma estação de tratamento de águas residuais.

Como citado em Ahmann (2016) um exemplo de combinação de tecnologias para aumento na eficiência de tratamento de gases odoríferos é a utilização simultânea do carvão ativado e TiO_2 já apresentou resultados promissores na degradação fotocatalítica do gás amônia NH_3 . Isto ocorre devido a um efeito sinérgico desses componentes com a irradiação UV, favorecendo a atividade catalítica do TiO_2 e conseqüentemente, promovendo degradação do NH_3 .

3.2.3 Método biológico: biofiltro e enzimas

Diversas tecnologias estão disponíveis para o tratamento de gases odorantes provenientes de estações de tratamento de águas residuais, instalações de tratamento de lodo e de processamento de subprodutos de origem animal, indústrias petroquímicas e de papel e celulose, entre outras atividades geradoras de odores. Entre essas alternativas, a biofiltração é bastante versátil sendo aplicável ao tratamento de efluentes gasosos das mais diversas origens e contendo os mais variados tipos de poluentes. A biofiltração é um dos mais importantes processos biológicos utilizado para o tratamento de gases e controle de odores (BRANCHER; MELO LISBOA, 2014).

Biofiltros são reatores com leito fixo, biomassa imobilizada e fase líquida estacionária, em que os poluentes são transformados em compostos menos tóxicos ou

inertes através da atividade microbiana (ALLIEVI, 2018). Os biofiltros podem ser classificados em três tipos principais: i) biofiltro não estruturado e com enchimento de fundo; ii) biofiltro estruturado e sem enchimento de fundo; iii) biofiltro pré-fabricado (CHERNICHARO *et al.*, 2011).

As vantagens da biofiltração usada para o tratamento de gases provenientes de sistemas de tratamento de águas residuárias, odores, é ser uma tecnologia biológica considerada ambientalmente correta, uma vez que não produz subprodutos tóxicos, requer pouca ou nenhuma energia e aditivos, e também por possuir um baixo custo de implantação e operação. Dentre os fatores limitantes para aplicação de biofiltros estão a concentração do poluente e a vazão da corrente gasosa que entra no sistema, esses podem inibir a microbiota presente no biofiltro, prejudicando o sistema de tratamento. O tratamento dos gases por biofiltração ocorre através da transferência de produtos químicos gasosos para a fase líquida que envolve o meio filtrante, onde os microrganismos degradam os poluentes químicos no biofilme (ALLIEVI, 2018).

Os biofiltros são mais indicados para o tratamento de gases odorantes com concentrações de H_2S abaixo de $1,0 \text{ g.m}^{-3}$ (aproximadamente 687 ppm) (CHERNICHARO *et al.*, 2011).

Outro método biológico é o tratamento microbiológico com enzimas possibilita: o controle da demanda biológica de oxigênio (DBO); reduz a cor e odores dos efluentes; reduz lodo, graxas e gorduras além de nutrientes como fósforo e nitrogênio; indiretamente aumenta os níveis de oxigênio para outros organismos aquáticos (SNATURAL AMBIENTE, 2020). O BioMax é um produto líquido castanho escuro, coquetel de microrganismos e enzimas GRAS (*Generally Regarded as Safe*) com aplicações comerciais variadas. É usado para controle de odores e moscas e mau cheiro, reativação e limpeza de sistemas de esgotos, controle de gorduras e redução de DBO, redução de lodo e aumento da capacidade digestiva em estações de tratamento de esgotos e aquicultura. Controla de gás sulfídrico (H_2S), fixa amônia e desentope fossas (SNATURAL AMBIENTE, 2020).

A utilização de produtos ecológicos, como as enzimas, nas lavanderias industriais possibilita a inutilização do hipoclorito de sódio, que juntamente com o permanganato de potássio são grandes agentes poluidores, e causam mal à saúde dos colaboradores. Além do processo ecológico utiliza 56,31% a menos de água e consome 27,5% menos de tempo que o processo tradicional, também diminui o consumo de energia e mantém a qualidade do denim com diminuição dos impactos gerados (LUIZ; VALENTIM, 2019). A linha de

produtos químicos Eco (Garmon Kemin Group) utiliza técnicas inovadoras de lavagens no jeans eficientes e sustentáveis, nas quais enzimas são aplicadas por nebulização, o bigode é feito no laser com pistola de ar comprimido manualmente, em vez do processo de beneficiamento *used* tradicional feito com o uso de permanganato de potássio ou hipoclorito de sódio. Poucas lavanderias no Brasil fazem o uso de produtos químicos da linha ecológica, ela ainda é uma novidade no mercado (LUIZ; VALENTIM, 2019).

Os tratamentos *greenofchange*® criados pelos esforços de P&D da Garmon em produtos sustentáveis, levou a criação de uma plataforma para aumentar a segurança química e melhorar o desempenho ambiental em acabamentos de roupas. Eles podem ser adotados tanto por lavanderias quanto por marcas de moda para melhorar as características ecológicas de jeans ou roupas tingidas (GARMON KEMIN GROUP, 2020).

Sabendo do impacto significativo que a indústria têxtil tem no ambiente, principalmente em região de escassez hídrica, as principais enzimas: oxirredutases, lacases e peroxidases possuem um potencial de tratamento para compostos orgânicos e corantes aromáticos por precipitação e ruptura do anel aromático, assim podendo desempenhar inovação estratégica de sustentabilidade para reduzir custos e poluição ambiental (FACCIOLI *et al.*, 2020).

A neutralização térmica é outra alternativa de método de tratamento biológico. Este método é utilizado, em particular, para estações de tratamento que realizam processamento térmico de lodo e resíduos. Cada um dos processos de tratamento de gases emitidos de instalações individuais de tratamento de águas residuais tecnológicas deve, no entanto, ser projetado separadamente, levando em consideração a tecnologia de tratamento de águas residuais e as características dos odores emitidos. Instalações individuais e linha de processo no modelo de planta de tratamento de águas residuais, junto com o odor estimado emissões dentro de uma instalação dada, são apresentadas pelos autores (LEWKOWSKA *et al.*, 2016).

Para melhorar a qualidade da água no rio Zarqa e da represa King Talal, o Ministério da Água e Irrigação da Jordânia decidiu substituir lagoas de estabilização por sistema de lodo ativado. A modernização da estação de tratamento de águas residuais de Al-Samra melhorou significativamente a qualidade da água no rio Zarqa e acredita-se ser um fator chave para a restauração do ambiente aquático vida nele. Assim, a estação de tratamento de águas residuais de Al-Samra não é mais uma fonte potencial de poluição do ar na cidade de Al-Hashemeyyah (AL-MASHAQBEH *et al.*, 2015).

3.3 Modelos matemáticos de dispersão atmosférica de odores

Os processos biológicos anaeróbios responsáveis pela formação de odor em ETEs, produzem tanto gases inorgânicos, como o sulfeto de hidrogênio (H_2S) quanto compostos orgânicos voláteis (COV). Antes de se buscar alternativas de controle, deve-se primeiramente identificar e quantificar o(s) composto(s) causador(es) do odor, através da adoção de técnicas de amostragem e análises mais adequadas à natureza dos gases em questão (SCHIRMER *et al.*, 2007).

Para avaliar o incômodo causado pelo odor são necessárias medições em campo e quantificação da emissão de substâncias químicas, principalmente de fontes industriais, são técnicas utilizadas para avaliação do odor (PIRINGER; SCHAUBERGER, 2020).

Os procedimentos de modelagem seguiram as Diretrizes da Agência Ambiental Americana (EPA, 2018). O sistema computacional de modelagem é formado por um módulo principal (AERMOD) e dois pré-processadores (AERMET e AERMAP). O principal objetivo do AERMET é calcular os parâmetros da camada limite para posterior uso pelo AERMOD (BARBON; GOMES, 2010). Além disso, o AERMET passa todas as observações meteorológicas para o AERMOD (EPA, 2004a).

São inseridas no AERMET características de superfície como reflexibilidade (albedo), rugosidade da superfície e razão de Bowen, além de parâmetros meteorológicos padrão como: velocidade e direção do vento, temperatura e cobertura de nuvens. O AERMET então calcula os parâmetros altura da camada limite (PCL), velocidade de atrito, comprimento de Monin-Obukhov, escalas de velocidade convectiva (w^*) e de temperatura (*), altura de mistura (z_i) e fluxo de calor superficial (H). Estes valores são então passados à interface meteorológica dentro do AERMOD através de dois arquivos: arquivo de dados de “superfície” (.SFC) e arquivo de dados de “perfil” (.PFL) utilizados na determinação do perfil vertical de velocidades do vento, do coeficiente de turbulência vertical e lateral e do gradiente de temperaturas, utilizados pelo AERMOD no processo de cálculo da dispersão atmosférica de poluentes (EPA, 2004a).

O AERMET pode processar vários formatos diferentes de dados, como, por exemplo, os formatos CD144 (Card Deck 144 format), SCRAM (Suport Center for Regulatory Models) e SAMSON (Solar and Meteorological Surface Observation Network). Informações sobre os referidos formatos podem ser obtidas em EPA (2004a) (BARBON; GOMES, 2010).

Já o pré-processador AERMAP é uma ferramenta para gerar grades de receptores e identificar as características topográficas do terreno (DINÇER *et al.*, 2020). O AERMAP faz o pré-processamento dos dados de terreno e de localização das fontes e receptores para posterior uso pelo AERMOD. O AERMOD usa os dados meteorológicos e de terreno para modelar a dispersão de poluentes e calcular as concentrações médias de poluição do ar no tempo (ZADE; INGOLE, 2015).

As principais funções do AERMAP são a determinação da elevação da base das fontes e dos receptores fornecendo estas informações ao AERMOD para posterior determinação da concentração de poluentes (EPA, 2004c). O AERMAP requer dois tipos de dados de entrada: a localização das fontes e dos receptores e um arquivo com os dados de terreno. É programado, ainda, para ler apenas o formato DEM, que é disponibilizado pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (United States Geological Survey, USGS) (EPA, 2004c) (BARBON; GOMES, 2010). O AERMOD usa os dados meteorológicos e de terreno para modelar a dispersão de poluentes e calcular as concentrações médias de poluição do ar no tempo (ZADE; INGOLE, 2015).

O AERMOD, que é o modelo regulatório recomendado pelo USEPA, é um dos modelos gaussianos mais comumente usados em todo o mundo. O software é usado e recomendado para estimar as dispersões de odores devido ao seu ótimo desempenho, especialmente em campo próximo (DINÇER *et al.*, 2020).

O AERMOD é um modelo estacionário de pluma gaussiana usado para simulação da dispersão dos poluentes, contém algoritmos avançados para descrever os processos turbulentos de mistura que ocorrem na camada limite planetária (CLP) para condições de camadas estratificadas estáveis ou convectivas. O modelo AERMOD pode ser usado para simulação da dispersão dos poluentes NO_x, SO_x, CO e Materiais Particulados (BARBON, GOMES, 2010; MELO *et al.*, 2012). Os resultados mostram que a probabilidade de detecção de H₂S excede 50% a 400 m de distância da principal fonte de emissão, especialmente no verão (LEWKOWSKA *et al.*, 2016).

A concentração total é obtida pelo modelo AERMOD, conforme a Equação 1 (EPA, 2004; BUHR, 2011).

$$C(x, y, z) = C_a(x, y, z) + C_p(x, y, z) + C_r(x, y, z)$$

Equação 1

A contribuição da fonte direta é obtida a partir da Equação 2 (EPA, 2004; BUHR, 2011).

$$C_d(x, y, z) = \frac{Qf_p}{\sqrt{2\pi u}} F_y \sum_{j=1}^2 \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\lambda_j}{\sigma_{zj}} \left[\exp\left(-\frac{(z - \psi_{dj} - 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + \psi_{dj} + 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) \right]$$

Equação 2 com:

$$\psi_{dj} = h_s + \Delta h_d + \frac{\bar{w}_j x}{u} \text{ e } F_y = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \right)$$

Onde:

C_d = concentração devida a fonte direta ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Q = taxa de emissão pela chaminé ($\mu\text{g}/\text{s}$)

u = velocidade do vento (m/s)

σ_x, σ_y = coeficientes de dispersão lateral e vertical

f_p = fração do material emitido pela fonte que permanece na camada limite convectiva, $0 < f_p < 1$

$j=1$ para linha inferior da pluma e 2 para linha superior da pluma

Ψ_{dj} = altura entre a base da fonte e a linha central da pluma (m)

λ = coeficiente de distribuição

O AERMOD apresenta vantagens como as previsões de emissões de odor em receptores da rede com uma alta resolução temporal, e é capaz de utilizar características topográficas simples ou complexas estimando resultados satisfatórios em suas simulações (DINÇER *et al.*, 2020).

4 Material e Métodos

4.1 Dados da fonte

O Polo de Confecções do Agreste de Pernambuco tem sua origem na cidade de Santa Cruz do Capibaribe, e hoje expandido para Toritama e Caruaru (XAVIER, 2020). O município de Caruaru, Agreste do Estado de Pernambuco-Brasil, localiza-se a uma altitude de 554 m e coordenadas geográficas de 08°17'S latitude e 35°58'W de longitude, distando 140,7 km da capital. (MEDEIROS, 2018). A área municipal ocupa 928,1 km² e representa 0,94% do Estado de Pernambuco, sendo que 16,6 km² estão em perímetro urbano e os 903,9 km² restantes formam a zona rural. As indústrias de beneficiamento de jeans representam as principais fontes estacionárias que contribuem para a poluição do ar no município, além da poluição da água. O empreendimento objeto deste estudo está localizado no Município de Caruaru (Figura 1), cujos os dados das fontes de emissão foram estabelecidos em visita técnica e baseado no laudo do método sensorial de análise. Na Figura 1 são apresentadas as bases de localização das fontes emissoras de odor da lavanderia selecionada.

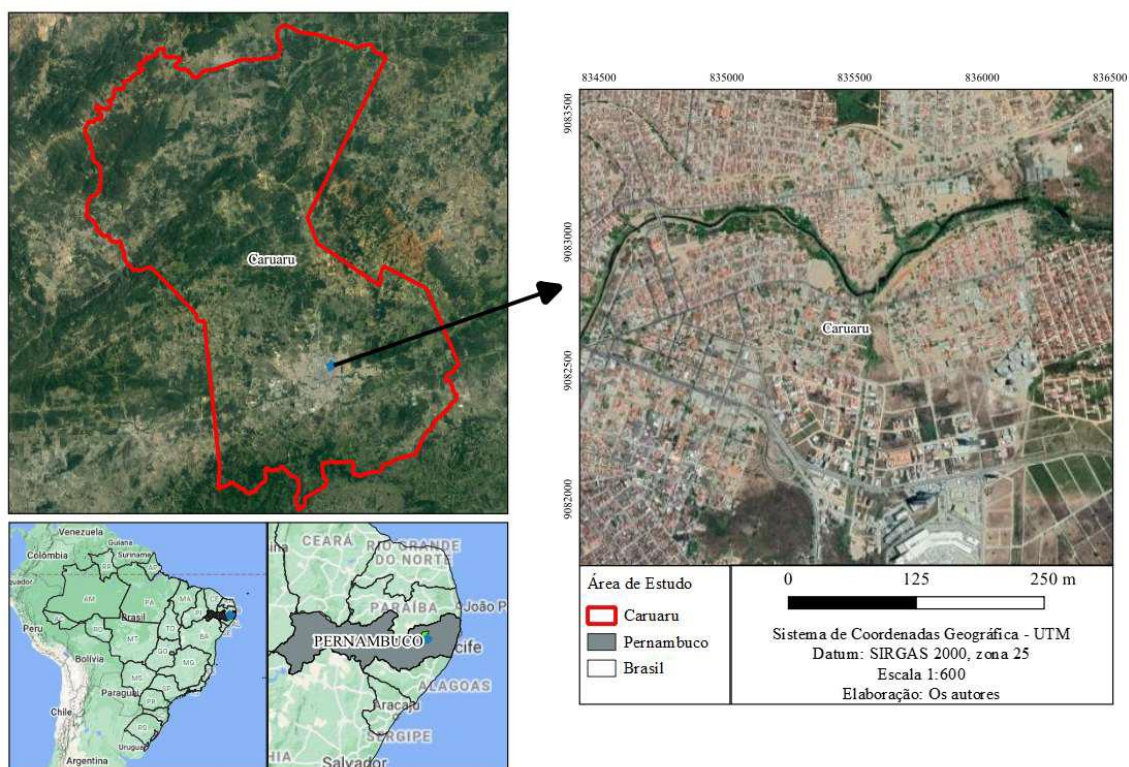


Figura 1. Localização da Indústria de beneficiamento têxtil, fonte de emissão de poluentes em relação ao centro da cidade de Caruaru-PE-Brasil

A decomposição anaeróbica de águas residuárias dão origem aos compostos gasosos, como H_2S , metano e outros compostos poluentes que afetam o meio ambiente, a saúde das pessoas e estações de tratamento localizadas perto de áreas residenciais leva a problemas jurídicos e políticos (SHIVASANKARAN *et al.*, 2020). O AERMOD avalia o alcance da pluma de gases odoríferos, representado pelo H_2S , e auxilia na escolha do tratamento adequado, para eliminar o odor. O trabalho de Shivasankaran *et al.*, (2020) concluiu que a sorção por material à base de enxofre combinado com processos de ozonização foram considerados muito eficazes no tratamento de efluentes, para remoção de H_2S , eliminando o odor fétido de águas residuais. Resultados de Brancher e Melo Lisboa (2014), demonstraram que o sistema de biofiltração atende a eficiência mínima requerida de 85% na remoção de odor em indústria têxtil investigada, tecnologia demonstrou-se adequada para o tratamento de gases odorantes provenientes de estações de tratamento de águas residuárias, e tratamento de lodo.

4.2 Métodos de amostragem para medição de odor

As amostras de efluente gasoso foram coletadas em sacos apropriados de Nalophan[®] (PET) and PTFE cedidos pela empresa Odournet (Figura 2) de acordo com o método de amostragem ativa contínua (CRUZ; CAMPOS, 2008), no qual, o ar é succionado para dentro do dispositivo de amostragem com o auxílio de uma bomba a vácuo por diferença de pressão entre os meios interno e externo e assim que atingiu o equilíbrio entre as pressões, o saco de Nalophan foi preenchido com a amostra de ar.



Figura 2. Sistema de coleta do ar odorante
Fonte: (Autor)

Os pontos de coleta foram determinados de acordo com a intensidade do odor gerada na indústria nos seguintes pontos: máquinas de produção, leito de secagem do lodo e tanque de equalização. Toda a condução de ar foi realizada através de mangueiras de poliuretano 8 mm, mantidas livres de odores. Uma fundamental vantagem da amostragem contínua é a possibilidade de medida das variações das concentrações do poluente em um curto período de tempo, possibilitando a investigação de suas causas.

As amostras de efluente gasoso foram coletadas em sacos apropriados de Nalophan® PET (Polietileno tereftalato) and PTFE (politetrafluoretileno) cedidos pela empresa Odournet (Figura 2) de acordo com o método de amostragem ativa contínua (CRUZ; CAMPOS, 2008), no qual, o ar é succionado para dentro do dispositivo de amostragem com o auxílio de uma bomba a vácuo por diferença de pressão entre os meios interno e externo e assim que atingiu o equilíbrio entre as pressões, o saco de Nalophan foi preenchido com a amostra de ar.

A amostra foi encaminhada para sede do laboratório de olfatométrica da Odournet em São Paulo- Brasil para análise de olfatométrica dinâmica. As amostras seguiram em aeronave no mesmo dia da coleta, pois o tempo máximo de 30 horas a partir da coleta do ar foi recomendado para a preservação das características originais.

A olfatométrica dinâmica é uma técnica sensorial padrão utilizada para medir a concentração de odor das amostras. O “método da diluição dinâmica” utilizou o Olfatômetro móvel T08S Odournet (de diluição dinâmica), um dispositivo de diluição específico. As amostras do efluente gasoso odorífero foram diluídas com fluxo de ar puro (inodoro) e ligadas ao Olfatômetro. A análise foi realizada apresentando a amostra ao painel em concentrações crescentes, por intermédio do Olfatômetro, até o júri detectar um odor diferente do ar puro (inodoro) padrão de referência. O júri de 4 pessoas da Odournet treinados de acordo com a norma EN13725:2003 (União Europeia) determinou a concentração de odor. A concentração de odor da amostra é o resultado dessa medição, expresso em unidades de odor europeias por metro cúbico (UO_E/m^3), onde, em nível de referência, $1 UO \cdot m^{-3}$ equivale à concentração em que 50% dos jurados percebe o odor e 50% não o percebe (limite de percepção olfativa – K_{50}).

O limite de percepção olfativa (K_{50}) de um odor corresponde à concentração de moléculas odorantes no ar para a qual a probabilidade de percepção por um júri de pessoas é de 50% (Melo Lisboa *et al.*, 2010). A determinação do fator de diluição para o limite de detecção olfativa (K_{50}) é representada pela equação 3:

$$K_{50} = (V_1 + V_2) / V_2 \quad \text{Equação 3}$$

Onde: V_1 = volume de gás puro (inodoro) e V_2 = volume de gás odorante

O limite de percepção olfativa pode ser definido como a máxima concentração odorífera ainda imperceptível ao olfato. O resultado representa o número de vezes em que a amostra foi diluída com ar puro (inodoro) para atingir sua concentração limite de percepção olfativa.

As amostras foram analisadas em três etapas consecutivas (3 rounds) e estas depois foram reunidas para a determinação do limite de percepção. Os limites de percepção individuais passaram então por um teste lógico, no qual as respostas muito distantes da média geométrica foram descartadas e a média recalculada, em etapas sucessivas, até que o teste lógico foi atendido.

4.3 Configuração do AERMOD e medição de odor

Para executar o sistema de modelagem de dispersão, três grandes entradas de dados foram necessárias: 1. odor de origem da fonte do tipo área ou taxa de emissão de gás, 2. dados meteorológicos (temperatura, umidade relativa, velocidade do vento, direção do vento, cobertura de nuvens, etc.) e 3. dados do terreno (elevação e altura da colina). Primeiro, o pré-processador AERMET, que processou dados meteorológicos e gerou perfis de dados meteorológicos. E o pré-processador AERMAP processou dados do terreno para gerar um perfil de dados do terreno para receptores específicos. Esses dois perfis, junto com as taxas de emissão de odor, foram inseridos no terceiro módulo, AERMOD, para gerar perfis de saída que contêm concentrações modeladas por 1 hora, 8 horas, 24 horas e anual para todos os receptores dentro do período selecionado de 2019-2020. A Figura 3 mostra o fluxograma da modelagem do AERMOD.

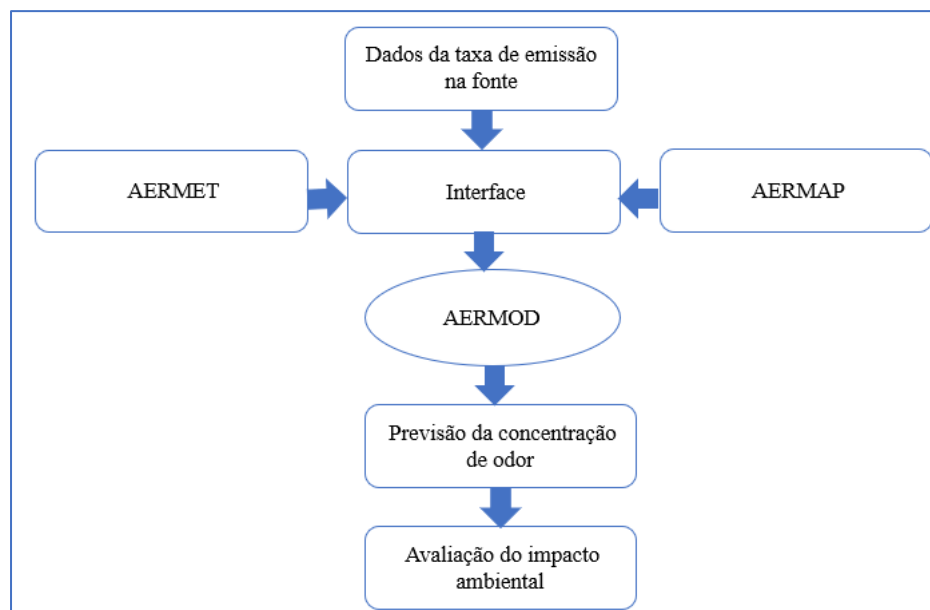


Figura 3. Fluxograma da modelagem
Fonte: (Autor)

4.3.1 Dados meteorológicos

São inseridas no AERMET características de superfície como reflexibilidade (albedo), rugosidade da superfície e razão de Bowen, além de parâmetros meteorológicos padrão como: velocidade e direção do vento, temperatura e cobertura de nuvens. O AERMET então calcula os parâmetros altura da camada limite planetária (CLP), velocidade de atrito, comprimento de Monin-Obukhov, escalas de velocidade convectiva (w^*) e de temperatura (*), altura de mistura (z_i) e fluxo de calor superficial (H). Estes valores são então passados à interface meteorológica dentro do AERMOD através de dois arquivos: arquivo de dados de “superfície” (.SFC) e arquivo de dados de “perfil” (.PFL) utilizados na determinação do perfil vertical de velocidades do vento, do coeficiente de turbulência vertical e lateral e do gradiente de temperaturas, utilizados pelo AERMOD no processo de cálculo da dispersão atmosférica de poluentes (EPA, 2004a).

O AERMET pode processar vários os formatos de dados CD144 (Card Deck 144 format), SCRAM (Suport Center for Regulatory Models) e SAMSON (Solar and Meteorological Surface Observation Network). Informações sobre os referidos formatos podem ser obtidas em EPA (2004a) (BARBON; GOMES, 2010).

A série temporal de dados meteorológicos foi usada na modelagem no intervalo de tempo de dois anos de duração e coletada por uma estação INMET (Instinto Nacional de Meteorologia), Estação Caruaru A341. As informações meteorológicas compiladas

correspondem a todo o ano de 2019 e 2020, sendo dados horários para todos os parâmetros requeridos para a execução da modelagem, sendo eles: temperatura, umidade, pressão, velocidade e direção dos ventos, radiação e pluviosidade.

4.3.2 Dados do terreno

O pré-processador AERMAP é uma ferramenta para gerar grades de receptores e identificar as características topográficas do terreno (DINÇER et al., 2020). O AERMAP faz o pré-processamento dos dados de terreno e de localização das fontes e receptores para posterior uso pelo AERMOD. As principais funções do AERMAP são a determinação da elevação da base das fontes e dos receptores fornecendo estas informações ao AERMOD para posterior determinação da concentração de poluentes (EPA, 2004c). O AERMAP requer dois tipos de dados de entrada: a localização das fontes e dos receptores e um arquivo com os dados de terreno. É programado, ainda, para ler apenas o formato DEM, que é disponibilizado pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (United States Geological Survey, USGS) (EPA, 2004c; BARBON; GOMES, 2010). Os dados topográficos de Base Shuttle Radar Topography Mission SRTM3 com resolução horizontal de 90 m.

4.3.3 Receptores sensíveis

A área de estudo foi de 2 km por 2 km centrado-se em torno das 3 fontes. Devido a sua precisão no campo próximo até 50 km. Além disso, foram determinados 3 receptores discretos (excluindo a fonte) que representam os locais de medição de odor. A altura de cada receptor era de 1,5 m, exceto para estes três receptores que foram utilizados para estimativa das taxas de emissão das fontes do estudo. A grade de receptores foi definida com espaçamento de 100 m na área de 2 Km x 2 Km mais próxima a lavanderia e 250 m no restante do domínio. A partir do levantamento de todos os dados mencionados, estes foram inseridos e manipulados no software AERMOD.

4.3.4 Concentração e contorno da frequência livre de odor

Os arquivos de saída do AERMOD, que incluíam previsões de concentração de odor em 1 hora, 8 horas e 24 horas e anual foram extraídos e inseridos no Google Earth para gerar contornos de concentração com a ETAR sendo o ponto central (a fonte de de

emissão de gás H_2S odorante) nas figuras 4 e 5. A concentração de odor horária, em 8 horas e 24 horas em todos os receptores foi modelada por um período de 2 anos. Assim, pôde-se calcular a frequência livre de ocorrência de odores, que é a razão entre o total de horas em que um limiar de odor não foi ultrapassado (livre de ocorrência de odores) e o total de horas do período (2 anos neste estudo). Os resultados foram gerados em contornos de frequência sem ocorrência de odores por Google Earth.

5 Resultados e discussão

5.1 Resultados da análise sensorial da concentração de odor

O modelo regulatório de dispersão atmosférica (AERMOD) permitiu reproduzir o comportamento da pluma de dispersão da H_2S da fonte principal, sob diferentes condições meteorológicas e intervalos de tempo (média de curto e longo período de exposição). A análise integrada foi conduzida segundo a metodologia de Malheiros *et al.* (2014). A integração entre a olfatosmetria e a modelagem de dispersão atmosférica possibilitou a avaliação do impacto do odor emitido no entorno, identificando as principais fontes de odor da lavanderia “A”. No estudo de caso da lavanderia em Caruaru, os resultados para concentração de odor estão na Tabela 1.

Fonte	Concentração de odor (ou_E/m^3)
1 – Tanque de Produção	192
2 – Lodo – Leito de Secagem	406
3 – Tanque de Equalização	108

Tabela 1. Resultados das análises da concentração de odor expressos em ou_E/m^3
Fonte: (Relatório Odournet, 2020).

Entre os pontos de amostragem 1 (tanque de produção), 2 (lodo-leito de secagem) e 3 (tanque de equalização), o segundo ponto teve a maior concentração de odor expresso em ou_E/m^3 . A Unidade ou_E/m^3 apenas é válida apenas se a rastreabilidade para massa de odor de referência europeia (European Reference Odour Mass – EROM) estiver comprovada. De acordo com Melo Lisboa *et al.* (2010) o resultado da análise é dado na forma de concentração, em unidades de odor por metro cúbico: $U.O.m^{-3}$. Isto significa que a concentração da amostra representa o número de vezes que esta deve ser diluída para que seja atingido o seu limite de detecção (quando existe apenas 50% de probabilidade que este odor seja percebido).

Os narizes eletrônicos são baseados nos receptores olfativos naturais, e podem ser utilizados para monitorar a qualidade do ar, detectar fontes e quantificar emissões odorantes. O sistema é composto por um conjunto de sensores químicos de gases, vapores e odores a partir de perfis e padrões. São capazes de medir o grau de exposição dos receptores através da medida da concentração ou intensidade do odor. Em algumas aplicações os narizes eletrônicos podem ser usados para dar suporte ou imitar os painéis de peritos humanos (MELO LISBOA; PAGE; GUY, 2009). Por exemplo, estudos da dispersão de gases odoríferos podem oferecer riscos químico e físico à saúde do avaliador dependendo da concentração e da temperatura do poluente da amostra, assim, a ferramenta ajuda a preservar a saúde do pesquisador em análises de gases tóxicos.

Deshmukh *et al.* (2015) avaliaram a aplicabilidade prática do nariz eletrônico para a medição eficaz de odores industriais e emissões de gases gerados ou emitidos durante os vários processos operacionais. A tecnologia adaptada também pode ser capaz de monitorar a saída de odor em estações de tratamento de águas residuais, porém tem restrição quando o poluente se encontra em pequenas concentrações.

Em relação à exposição ao risco biológico na avaliação sensorial da amostra de gases odoríferos realizadas em campo, aumenta a necessidade da compreensão dinâmica da dispersão em ambiente aberto do SARS-CoV-2. A modelagem AERMOD ajuda a compreender a dispersão do coronavírus e pode ajudar a tomada de medidas preventivas e no controle e contenção do vírus em ambientes ao ar livre (REZAALI; FOULADI-FARD, 2021). O AERMOD torna-se uma ferramenta juntamente com o uso de nariz eletrônico para modelar PM10 carregado com SARS-CoV-2.

Leite *et al.* (2021) propõem um nariz eletrônico (e-nose) recentemente desenvolvido com base em sensores de gás disponíveis comercialmente para fornecer uma solução não destrutiva, rápida, de baixo custo e portátil capaz de detectar amostras de drogas ilícitas por meio do odor. O sistema forneceu detecção em tempo real, e pode ser uma alternativa para cães farejadores ou para os atuais métodos de triagem *in situ*.

5.2 Simulações de dispersão do gás H₂S

O modelo AERMOD foi usado para implementar um estudo de dispersão da poluição odorante, que pode ser originada devido às emissões de odores da Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) da lavanderia de beneficiamento de jeans em Caruaru, para a comunidade que vive nos arredores. A versão gratuita do software foi

utilizada para a realização do estudo, porém as imagens foram obtidas pela versão paga 8.7 do Lakes Environmental Software, licença AER0005552, nos anos de 2019 e 2020.

Executando o modelo de acordo com as coordenadas do sistema de grade na área de estudo do modelo determinada para a ETAR em Caruaru, os valores de concentração máxima de odor utilizados para os cálculos do modelo são mostrados nas Tabelas 2 e 3.

Estes revelam os valores máximos de concentração de odores para os intervalos de exposição ao odor de 1, 8 e 24 horas.

Os valores dos testes sensoriais foram inseridos na simulação para períodos menores, pois é necessário ajustar o modelo na representação da dispersão atmosférica local. Além disso, existem normas ambientais que muitas vezes exigem o valor da concentração em função do período de exposição de um receptor (comunidade). Portanto, o menor tempo de exposição também se deve à legislação ambiental e depende do tipo de composto que está sendo avaliado.

Mês (2019)	1 hora	8 horas	24 horas
Janeiro	215,51	124,42	58,26
Fevereiro	217,47	91,83	52,26
Março	220,08	80,44	50,27
Abril	215,51	88,74	64,85
Maiο	214,80	132,47	81,24
Junho	217,90	104,53	68,79
Julho	209,50	97,52	65,47
Agosto	149,01	64,37	55,52
Setembro	217,52	85,36	63,13
Outubro	145,62	69,94	40,78
Novembro	216,74	75,19	56,88
Dezembro	140,71	76,95	37,44

Tabela 2. Concentração máxima de odor (UO/m³) em 1, 8 e 24 horas em 2019

Fonte: (Autor)

Mês (2020)	1 hora	8 horas	24 horas
Janeiro	216,72	89,96	45,62
Fevereiro	236,30	93,30	53,65
Março	218,97	112,25	69,52
Abril	220,50	147,01	79,47
Maio	313,97	163,22	100,21
Junho	217,94	95,74	66,32
Julho	323,38	114,07	60,09
Agosto	149,01	139,69	61,92
Setembro	202,73	94,67	54,97
Outubro	191,30	99,83	54,53
Novembro	207,32	87,37	46,68
Dezembro	216,40	97,67	46,97

Tabela 3. Concentração máxima de odor (UO/m³) em 1, 8 e 24 horas em 2020

Fonte: (Autor)

A Tabela 4 apresenta os exemplos padrões ambientais para compostos causadores de odores em países que possuem legislação.

Jurisdicção	Contaminante	Padrão	Unidade	Fonte ou Tipo de Porcesso
EUA	Odor	1.000 – 50.000	D/T (Dilution-to-Threshold) Diluição até o Limite	Fonte > 9m a Fonte >55 m
Canadá	Odor	1	UO/m ³	-----
Alemanha	Odor	500	UO/m ³	Leito de secagem do lodo
Japão	Odor	1.000	mg/L	Concentração padrão de poluente no efluente líquido
Coréia	Odor	500	Concentração de odor (CO)	Instalações em áreas residenciais

Tabela 4 Exemplos de padrões ambientais para compostos que causam odores

Fonte: Furberg et al. (2005); Mahin, (2002) adaptados

Alguns países como Alemanha, EUA e Canadá definem o limite de odor com base no monitoramento direto de odores nas áreas afetadas (BOKOWA *et al.*, 2021). No Brasil atualmente não há regulamentação ou diretrizes sobre a qualidade do ar ambiente para regular a média anual concentrações de odor. Porém, mesmo sem políticas específicas

para o controle de incômodos olfativos, a situação que provoca o incômodo é analisada com base nas decisões do Direito Comum. Mas, o Direito Comum serve apenas para diminuir odores intoleráveis depois que um problema de odor já existe, mas não para prevenir a ocorrência de incômodos olfativos (VIEIRA, 2013).

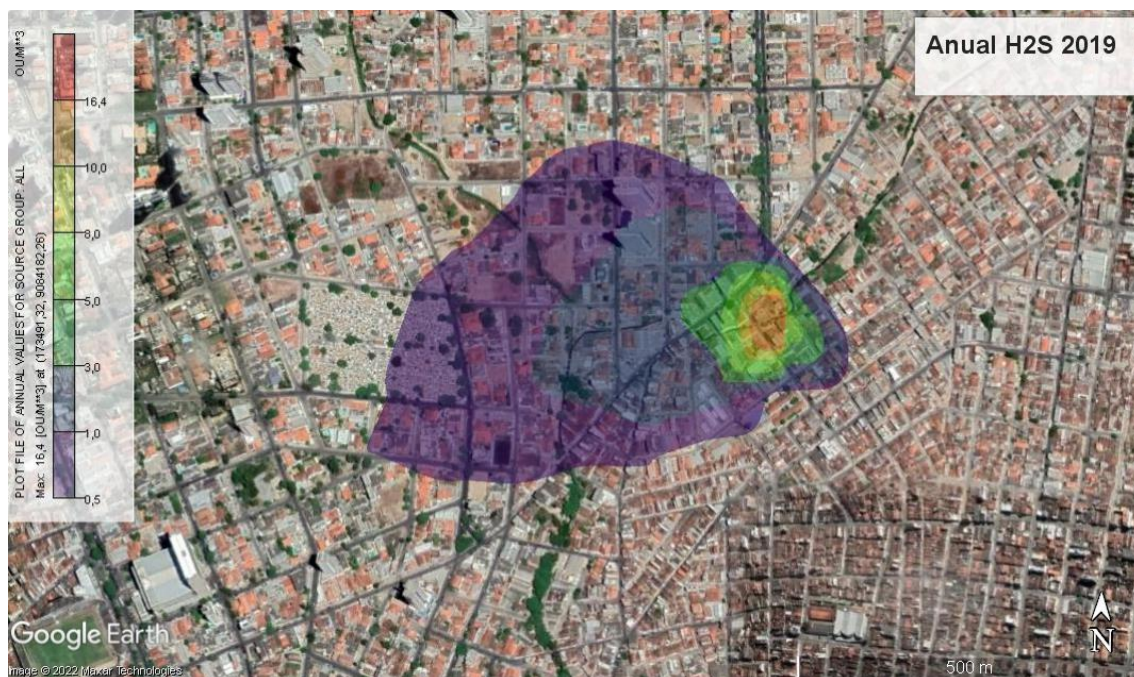


Figura 4. Concentração máxima anual de odor em 2019

Fonte: (Autor)

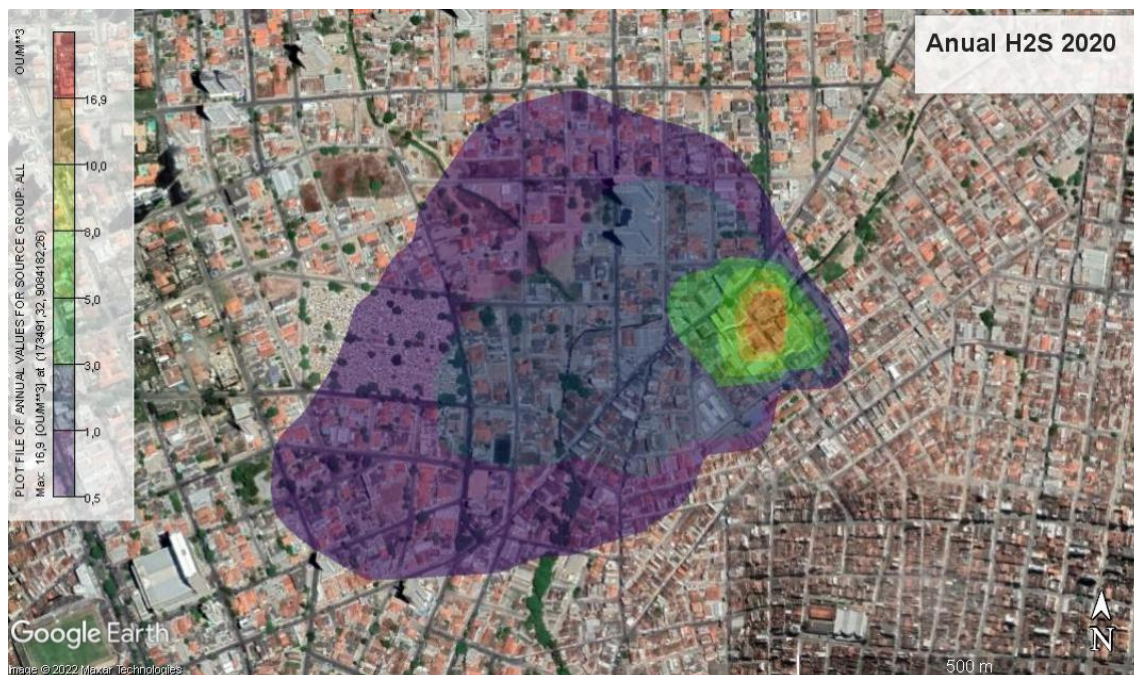


Figura 5. Concentração máxima anual de odor em 2020

Fonte: (Autor)

As Figuras 4 e 5 mostram os contornos da média anual da concentração de odor (CO). Cada contorno compreende todos os receptores sob uma CO. De acordo com Huang e Guo (2019), diferentes distâncias de deslocamento de odor podem ser determinadas a partir dos contornos. Cada receptor sob a mesma concentração de odor (CO) forma um contorno.

Deve-se notar que a legislação ambiental em alguns países europeus, como a França, define limites de exposição ao odor como VLE (valores-limite de emissão em OU/s ou OU/h). Enquanto, em vários estados dos EUA, a razão diluições/limiar (*do inglês dilutions/threshold*) (D/T) é mais comum (BOKOWA *et. al.*, 2021).

Analisando a simulação realizada para a média anual da concentração máxima em 2019 e 2020, observa-se que as maiores concentrações ocorrem em 2020 e a propagação do odor é também é mais intensa neste ano de 2020.

Entre as razões para as concentrações de 2020 serem superiores a 2019 estão, a velocidade média do vento em 2020 inferior a 2019. Valor médio em 2020 da velocidade do vento de 2,8 m/s, enquanto em 2019 foi de 3,2 m/s Esta maior magnitude do vento em 2019 está correlacionada com uma velocidade de atrito do vento (atrito) mais intensa que causa maior dispersão atmosférica em 2019 e conseqüentemente menor concentração atmosférica em 2019. Além da velocidade de atrito, outro fator micrometeorológico que contribui para a maior dispersão atmosférica em 2019 é a altura da camada de mistura (Zi). Em 2019 a altura Zi média da Camada Limite Atmosférica ou Camada Limite Planetária foi de 1.259,4 metros, contra 1.199,8 metros em 2020. Essa altura vertical maior permitiu um maior volume de dispersão (diluição) de contaminantes na atmosfera.

O fluxo de calor sensível e a velocidade convectiva nos dois anos são muito próximos, sem grande variação, o que mostrou que os resultados discrepantes de concentração atmosférica entre os dois anos são consequência do forçamento mecânico na região do Recife, ou seja, a convecção atmosférica nos dois anos. É semelhante. Portanto, a turbulência mecânica foi responsável pela maior dispersão em 2019, enquanto a turbulência convectiva foi semelhante nos dois anos.

Geralmente, temperatura do ar, velocidade e direção do vento, umidade do ar, pressão atmosférica, bem como parâmetros micrometeorológicos, velocidade de atrito (fricção do vento), comprimento de Monin-Obukhov, velocidade convectiva (w^*) e escalas de temperatura (*), altura de mistura (zi) e o fluxo de calor superficial (H) são os parâmetros que influenciam a dispersão atmosférica. No entanto, neste estudo específico,

após avaliação dos dados micrometeorológicos, foi possível verificar que velocidade do vento, velocidade de atrito (fricção do vento) e altura da camada limite Zi foram os parâmetros que mais contribuíram para a diferença na concentração atmosférica anual entre os dois anos de avaliação.

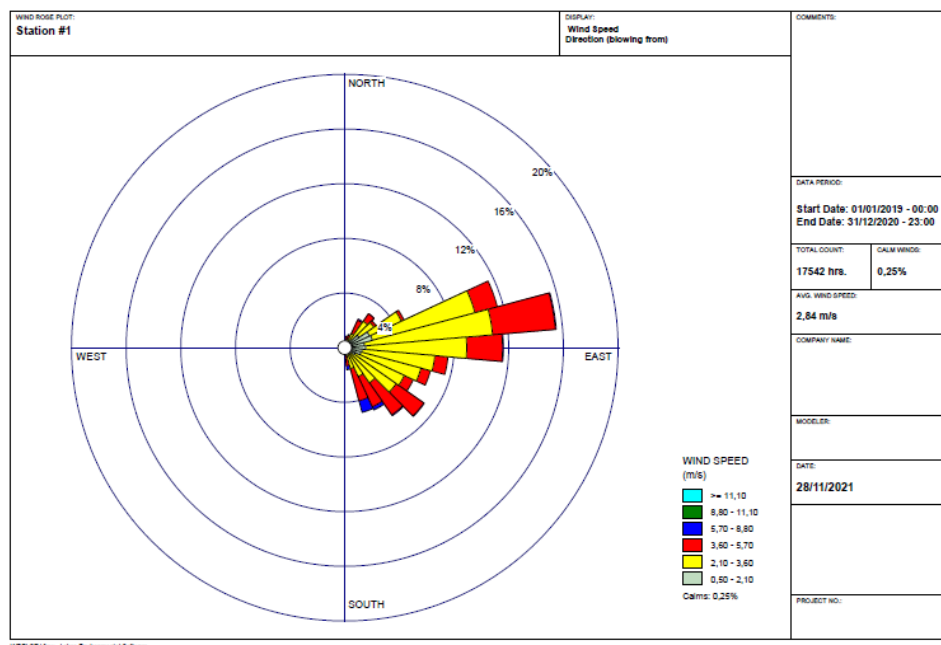


Figura 6. Rosa dos Ventos

Fonte: (Autor)

A Rosa dos Ventos foi construída na opção de escoamento de vento que indica a direção de origem do vento, “Blowing from”, ou seja, na Figura 6 mostra que os ventos Nordeste, Leste e Sudeste transportam poluentes para o quadrante Oeste. Se fosse construída a rosa na opção “blowing to” indicaria a direção para onde o poluente iria.

Cenário	Concentração máxima por hora	Concentração Média Anual
Ano 2019	220,08	10,0
Ano 2020	323,38	10,0

Tabela 5. Comparação da concentração em períodos de exposição curtos e longos

Fonte: (Autor)

A Tabela 5 apresenta as concentrações máximas por hora nos dois cenários bem mais altas que as concentrações médias anuais nos dois cenários.

Normalmente os modelos mais usados para fins de modelagem de dispersão de odor são AERMOD e CALPUFF (CAPELLI *et al.*, 2013). Atualmente existe uma tendência nos estudos a optar pelo modelo CALPUFF, devido às limitações dos modelos

gaussianos (AERMOD), incluindo a incapacidade de lidar com condições de calma e estagnação, falta de meteorologia tridimensional e suposição de estado estacionário (BARCLAY; BORISSOVA, 2013).

O sistema de modelagem de dispersão atmosférica AERMOD avalia médias anuais das concentrações atmosféricas de gás odorífero geradas nos ecossistemas para comparar com os limites dos impactos de curto alcance. No entanto, as condições noturnas estáveis podem prevalecer sobre as previsões das médias anuais das concentrações atmosféricas, o que pode contribuir significativamente com uma superestima das concentrações em certas condições estáveis de vento baixo e, desse modo, o modelo poderia superestimar os impactos de curto alcance das emissões de gases odoríferos (THEOBALD; SUTTON, 2013).

Quando a simulação ocorre um curto período de exposição (1h, 8h e 24 h) há uma tendência a superestimação da concentração atmosférica, caso ocorresse a previsão da concentração, a concentração medida fora dos limites da empresa tenderia a ser maior. Se a previsão do modelo for superestimada, resulta em custos altos para redução de H₂S na instalação da usina (KHOIRUNISSA, 2018). Logo, as médias mensais e anuais são as mais representativas. O AERMOD é um modelo de dispersão de pluma gaussiana em estado estacionário destinado a dispersão de poluição do ar de curto alcance (<50 km) a partir de fontes de ponto, área de linha e volume (GIBSON *et al.*, 2013).

5.3 Limiar da concentração do odor (CO) – *Threshold* em 2019 e 2020

Também realizamos modelagem da dispersão para verificar se suas concentrações a partir de critérios de impacto de odor violavam ou não os regulamentos.

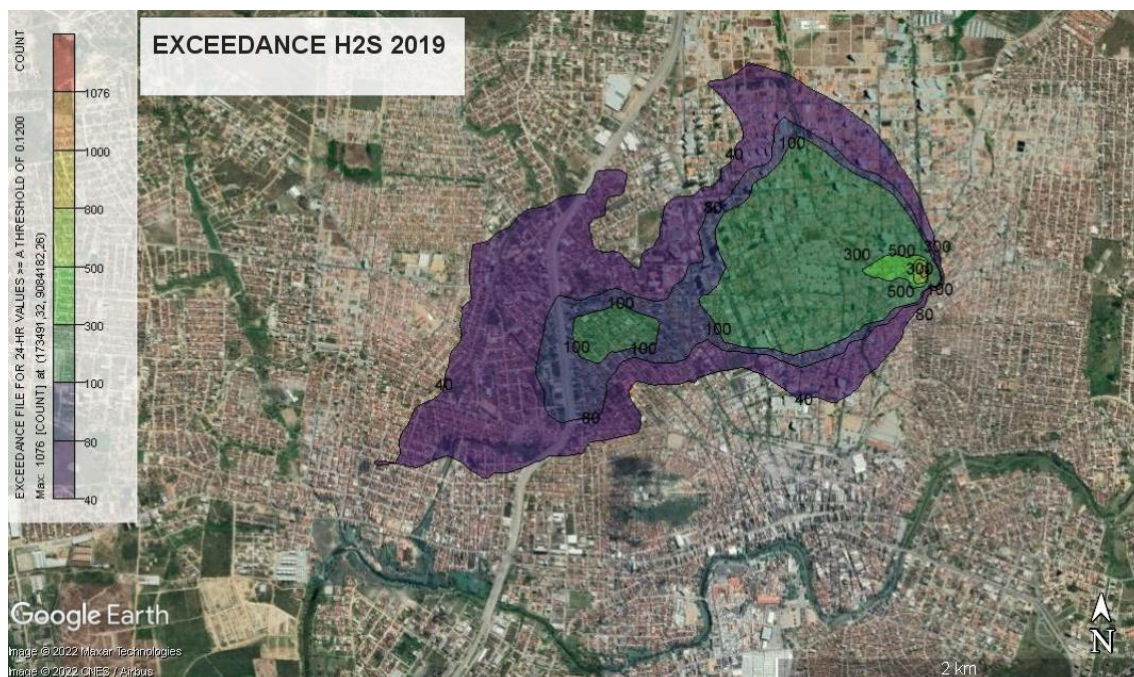


Figura 7. Limiar da concentração do odor (CO) em 2019

Fonte: (Autor)

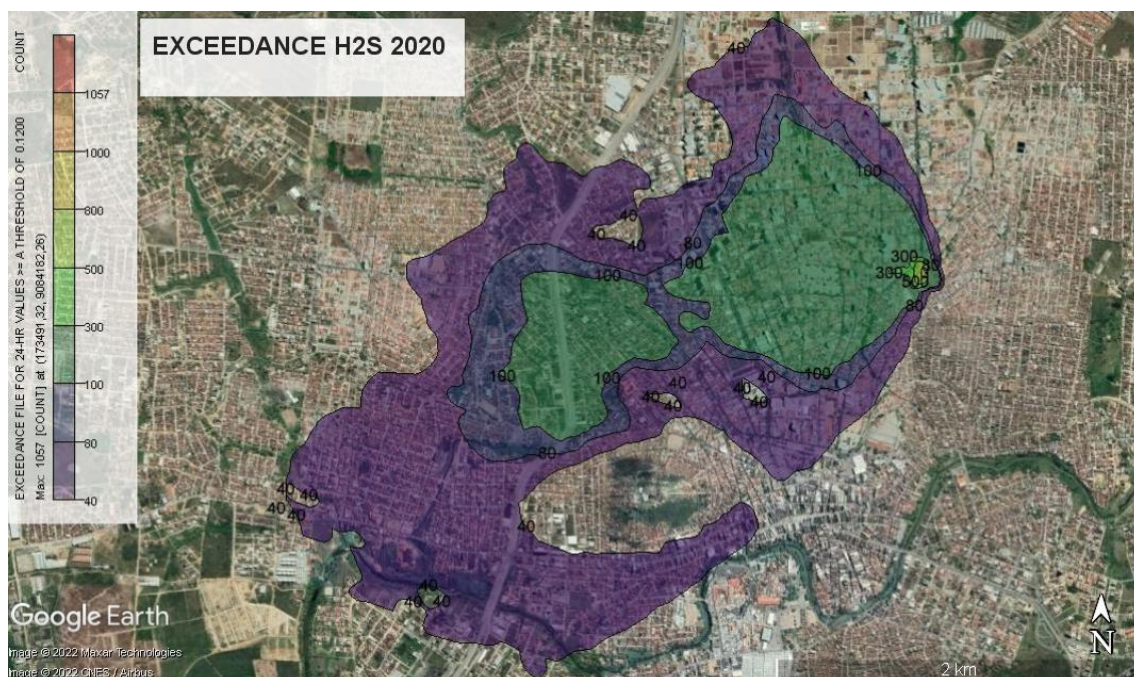


Figura 8. Limiar da concentração do odor (CO) em 2020

Fonte: (Autor)

Os limites são chamados de critérios de impacto de odores (CIO) ou concentração de odores ou limiares de detecção. Os CIO são baseados nas concentrações de odores e na probabilidade de exceder a concentração (ou seja, percentil) para definir a conformidade (BOKOWA *et al.*, 2021).

Nas Figuras 7 e 8, o contorno vermelho indica os locais onde ocorreram 1076 violações do limite de 0,12. O contorno verde indica os locais onde houve 100 violações do limite de 0,12. Com a legenda fica claro que no ano de 2020 as violações ocorrem em uma área mais ampla. As razões são as mesmas discutidas nos valores médios anuais.

Os valores calculados dos critérios de impactos de odores (CIO) podem ser utilizados para quantificar o impacto dos poluentes encontrados na emissão de odor na saúde humana e no meio ambiente. Dois métodos podem ser usados para quantificar o impacto químicos gerado na saúde humana, a avaliação de risco à saúde humana e a análise do ciclo de vida. A avaliação de risco à saúde humana estima o efeito na população local que a dispersão de poluentes atmosféricos perigosos causa à saúde. A análise do ciclo de vida é um método que estuda o impacto ambiental de processos e produtos e da saúde humana e classifica a emissão de poluentes perigosos como cancerígenos e não cancerígenos (TIAN; BILEC, 2018).

Duarte e Silva, (2020) mensurou os impactos ambientais e sociais relacionados ao tratamento do efluente de lavanderia de beneficiamento de jeans, utilizando como ferramenta ambiental, a análise do ciclo de vida. Além da atuação no estudo de impacto ambiental, a ferramenta também atua em avaliação de risco, desempenho ambiental, auditoria e avaliação de impacto. Asif (2018) propôs um sistema de modelagem de dispersão da qualidade do ar baseado em um modelo de avaliação do ciclo de vida para a mineração, fonte do tipo poço aberto.

O modelo AERMOD é capaz de lidar com várias fontes, incluindo, ponto, volume, área, poço aberto, e tipos de fonte linear flutuante e não flutuante (EPA, 2004). Assim, o modelo AERMOD baseado em um modelo de avaliação do ciclo de vida também pode estar voltado para outros tipos de fonte, além da fonte tipo poço, e pode servir como uma ferramenta capaz de prever a qualidade do ar e ajudar a minimizar a quantidade de poluentes sugerindo técnicas econômicas de controle da poluição do ar.

Outro exemplo de sistema de modelagem de dispersão baseado em modelo de avaliação do ciclo de vida, mas em fonte pontual, Yang *et. al.*, 2020 avaliou o ciclo de vida completo dos elementos tóxicos potenciais durante o coprocessamento de resíduos perigosos no processo do forno de cimento via o cálculo de equilíbrio termodinâmico combinado com o modelo de dispersão atmosférica AERMOD.

É cada vez mais evidente para os gestores ambientais a associação da modelagem da dispersão atmosférica local na avaliação do ciclo de vida para prevenção de riscos de inalação na produção de produtos químicos. A modelagem de dispersão de ar e a

avaliação do ciclo de vida juntos podem fornecer uma visão abrangente dos riscos que a emissão de um produto químico gerados nos processos oferece à saúde humana (TIAN; BILEC, 2018). Um conhecimento profundo e análise do ciclo de (produto) vida e de todas as atividades da planta são fundamentais para a identificação de suas principais fontes de odor (CAPANEMA et al., 2016).

6 Conclusão

Este artigo apresenta o impacto do odor de uma estação de tratamento de água têxtil em Caruaru, Pernambuco, Brasil. As medições e simulação foram estendidas ao longo do período 2019-2020. Com base na análise sensorial, foram realizadas medições de odor, os resultados obtidos serviram de base para simular a concentração média de odor. Em ambos os anos, os dados e resultados simulados mostraram uma concentração média de odor acima dos limites de segurança estabelecidos pela legislação de países como EUA, Canadá e Alemanha.

Estudar a dispersão de gases odoríferos é uma importante ferramenta de gestão da qualidade do ar, pois evitará o risco de inalação de produtos químicos, protegerá o meio ambiente e reduzirá os custos de saúde no futuro.

Espera-se que os estudos de modelagem forneçam informações valiosas sobre as características da dispersão de odor em escala local e forneçam aos formuladores de políticas orientações para medidas eficazes de regulação e controle.

Sempre existem limitações na representação física da dispersão atmosférica por qualquer modelo de dispersão atmosférica. É importante notar que para simulações de curto período de exposição (1 hora, 24 horas) as incertezas nos resultados são maiores. Quando são realizadas simulações para avaliar períodos de exposição mais longos (médias mensais e anuais), as incertezas diminuem. No presente trabalho existem apenas três amostras que foram utilizadas para definir o nível de concentração muito próximo das fontes de emissão e foram amostras com menos de uma hora de amostragem. Para qualificar e quantificar as limitações das simulações desenvolvidas neste estudo, seria necessário ter análises de qualidade do ar (amostragem) para H₂S no entorno do empreendimento para comparar os resultados medidos e simulados. O período mínimo seria de um mês e o ideal seria ter um ano de análise da qualidade do ar para H₂S.

7 Referências

- Ahmann, Francielle da Silva. **Degradação fotocatalítica de NH₃ em manta de poliéster com carvão ativado nanoestruturada com TiO₂**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- Allievi, Maria Joana. **Avaliação de um biofiltro para tratamento de odores de estação elevatória de esgoto sanitário**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.
- Al-Mashaqbeh, A.; Abu-Allaban, M.; Al-Malabah, A. Air Quality Impact of the Upgraded Al-Samra Waste Water Treatment Plant. **Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences**, v. 7, n. 1, 2015.
- Asif, Z. (2018). Life Cycle Based Air Pollution Analysis and Management for Open Pit Mining. *International Journal of Environment and Sustainability*, 6(4), 34 – 46. ISSN 1927-9566
- Augusto, M.R.; Campos, B.; Carvalho, V.S.B.; Calheiros, H.C., 2019. Modeling of H₂S Dispersion in Brazil with Aermol: Case Study of Water Resource Recovery Facility In South of Brazil. **Rev. Bras. de Meteorol.**, 34 (4), 497-504.
- Barbon, A.; Gomes, J., 2010. Simulação das emissões atmosféricas sobre o município de Araucária com uso do modelo AERMOD. **Eng. Sanit e Ambient.**, 15 (2), 129-140.
- Barclay, J. J., & Borissova, M. (2013). Potential problems using AERMOD to implement current odour regulations for WWTPs. *Water Science and Technology*.
- Binas, V.; Venieri, D.; Kotzias, D.; Kiriakidis, G. Modified TiO₂ based photocatalysts for improved air and health quality. **Journal of Materiomics**, v. 3, n. 1, p. 3-16, 2017.
- Borges, S.S.; Xavier, L.P.S.; Silva, A.C. da; Aquino, S.F. da. Imobilização de dióxido de titânio em diferentes materiais suporte para o emprego em fotocatalise heterogênea. **Química Nova**, v. 39, n. 7, p. 836-844, 2016.
- Bokowa, A., Diaz, C., Koziel, J. A., Meginley, M., Barclay, J., Schauburger, G., ... & Wahe, L. (2021). Summary and Overview of the Odour Regulations Worldwide. *Atmosphere*, 12(2), 206.
- Brancher, M., & Melo Lisboa, H. (2014). Avaliação das emissões odorantes de um biofiltro aberto. *Tecno-Lógica*, 18(2), 77-83.
- Brasil. Ministério do Trabalho. Portaria 99, de 08 de fevereiro de 2018 - NR 36. Altera Norma Regulamentadora NR-36- Segurança e Saúde no Trabalho em Empresas de Abate e Processamento de Carnes e Derivados. Brasília, Disponível em: < <http://www.trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR36.pdf>>. Acesso em: 15 de setembro de 2022.
- Buhr, Fabio Andre. **Análise sazonal de dispersão de odores de uma estação de tratamento de efluentes de Portugal**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em

Engenharia Sanitária e Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

Capanema, M., Belli Filho, P., Melo Lisboa, H., & Schirmer, W. Principais metodologias de avaliação físico-química e olfatométrica de compostos orgânicos voláteis (COV) e odorantes—uma breve revisão. **Research Gate**, 2016.

Capelli, L., Sironi, S., Del Rosso, R., & Guillot, J. M. (2013). Measuring odours in the environment vs. dispersion modelling: A review. *Atmospheric Environment*, 79, 731-743

Chernicharo, C.A. de L.; Stuetz, R.M.; Souza, C.L.; Melo, G.C.B. de. Alternativas para o controle de emissões odorantes em reatores anaeróbios tratando esgoto doméstico. **Eng Sanit Ambient**, v. 15, n. 3, p. 229-236, 2010.

Chernicharo, C.A. de L.; STuetz, R.M.; Souza, C.L.; Melo, G.C.B. de. Contribuição para o projeto de biofiltros aplicados ao tratamento de emissões odorantes provenientes de reatores anaeróbios. **Revista DAE**, v. 186, n. 1767, p. 56-62, 2011.

Conti, C.; Guarino, M.; Bacenetti, J., 2020. Measurements techniques and models to assess odor annoyance: A review. **Environ Int.**, 134, 105-261.

Curcio, Monique Seufitellis. **Preparação de materiais poliméricos como suporte para TiO₂ e aplicação na degradação fotocatalítica de formaldeído**. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2011.

Cruz, L.P.S.; Campos, V.P., 2008. Métodos de amostragem e análise para compostos reduzidos de enxofre atmosférico. **Quím Nova**, 31 (5), 1180-1189.

Deshmukh, S., Bandyopadhyay, R., Bhattacharyya, N., Pandey, R. A., & Jana, A. (2015). Application of electronic nose for industrial odors and gaseous emissions measurement and monitoring—an overview. *Talanta*, 144, 329-340.

Dinçer, F.; Dinçer, F.K.; Sari, D.; Ceylan, Ö.; Ercan, Ö., 2020. Dispersion modeling and air quality measurements to evaluate the odor impact of a wastewater treatment plant in İzmir. **Atmospheric Pollut. Res.**, 11(12), 2119-2125.

Diosey, P. G. (2008). The Devil is in the Details: Odor Modeling and AERMOD. In *WEFTEC 2008* (pp. 5253-5270). Water Environment Federation.

Duarte, A. D., & Silva, G. L. da (2020). Aplicação da ferramenta de Análise de Ciclo de Vida (ACV) no processo de tratamento de efluentes em uma lavanderia de beneficiamento de jeans. *Exacta*, 18(2), 355-367.

Easter, C.; Quigley, C.; Burrowes, P.; Whitherspoon, J.; Apgar, D. Odor and air emissions control using biotechnology for both collection and wastewater treatment systems. **Chemical engineering journal**, v. 113, n. 2-3, p. 93-104, 2005.

Environmental Protection Agency (EPA). Users guide for the AERMOD meteorological preprocessor (AERMET). EPA-454/B-03-002. 2004a.

Environmental Protection Agency (EPA). Users guide for the AMS/EPA Regulatory Model – AERMOD. EPA-454/B-03-001. 2004b.

Environmental Protection Agency (EPA). Users guide for the AERMOD meteorological preprocessor (AERMAP). EPA-454/B-03-003. 2004c.

EPA (2018), Guidance on preparing an air quality modeling protocol. <https://www.state.nj.us/dep/agpp/downloads/techman/1002.PDF>.

Faccioli, G.; Barbosa, L.A.; Oliveira, S.M. de; Antunes-Neto, J.M.F. Sustentabilidade na gestão da indústria têxtil: aplicações enzimáticas no tratamento de efluentes. **Prospectus**, 2(1), 190-233.

Furberg, M.; Preston, K.; Smith, B. *Final Report, Odour Management in British Columbia: Review and Recommendations*; RWDI AIR Inc.: Vancouver, BC, Canada, 2005; pp. 830–999.

Garmon Kemin Group. Pioneering sustainable practices in garment finishing. 2020. Disponível em: < <https://www.garmonchemicals.com/en/sustainability/greenofchange> >. Acesso em: 13 de Novembro de 2020.

Gelinski Neto, F.; Gelinski, C.R.O.G., 2018. Problemas ambientais decorrentes de estações de tratamento de esgoto (ETEs) em Santa Catarina. **RCE**, 2 (1), 78-101.

Gibson, M. D., Kundu, S., & Satish, M. (2013). Dispersion model evaluation of PM_{2.5}, NO_x and SO₂ from point and major line sources in Nova Scotia, Canada using AERMOD Gaussian plume air dispersion model. *Atmospheric Pollution Research*, 4(2), 157-167.

Guadalupe-Fernandez, V., De Sario, M., Vecchi, S., Bauleo, L., Michelozzi, P., Davoli, M., & Ancona, C. (2021). Industrial odour pollution and human health: a systematic review and meta-analysis. *Environmental Health*, 20(1), 1-21.

Huang, D., & Guo, H. (2019). Dispersion modeling of odour, gases, and respirable dust using AERMOD for poultry and dairy barns in the Canadian Prairies. *Sci. Total Environ.* 690, 620-628.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas Populacionais. Estimativas da população residente nos municípios brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2021. Diretoria de Pesquisas - DPE - Coordenação de População e Indicadores Sociais - COPIS. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>. Acesso em 5 de setembro de 2022.

Jeong, S.J. CALPUFF and AERMOD dispersion models for estimating odor emissions from industrial complex area sources. **Asian Journal of Atmospheric Environment**, v. 5, n. 1, p. 1-7, 2011.

Khoirunissa, Irma. Aermod modelling of hydrogen sulfide (H₂S) concentration from geothermal power plants in Ulubelu, Indonesia and Hellisheidi-Nesjavellir, Iceland. Thesis Master (Engineering and Natural Sciences)- University of Iceland, Iceland 2018.

Kulig, A., & Szyłak-Szydłowski, M. (2019). Assessment of the Effects of Wastewater Treatment Plant Modernization by Means of the Field Olfactometry Method. *Water*, 11(11), 2367.

Lacey, M.E.Q.; Schirmer, W.N.; Melo Lisboa, H. A olfatométrica como ferramenta na verificação da eficácia de neutralizador de odor industrial. **Ambiência**, v. 4, n. 3, p. 367-382, 2008.

Langner, C., & Klemm, O. (2011). A comparison of model performance between AERMOD and AUSTAL2000. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 61(6), 640-646.

Laor, Y.; Parker, D. B.; Pagé, T. (2014). Measurement, prediction, and monitoring of odors in the environment: a critical review. **Rev. Chem. Eng.** 30 (2), 139-166.

Latos, M.; Karageorgos, P.; Kalogerakis, N.; Lazaridis, M. Dispersion of odorous gaseous compounds emitted from wastewater treatment plants. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 215, n. 1-4, p. 667-677, 2011.

Leite, L. S., Visani, V., Marques, P. C. F., Seabra, M. A. B. L., Oliveira, N. C. L., Gubert, P., ... & Lima Filho, J. L. D. (2021). Design and implementation of an electronic nose system for real-time detection of marijuana. *Instrumentation Science & Technology*, 1-16.

Lewkowska, P.; Cieślik, B.; Dymerski, T.; Konieczka, P.; Namieśnik, J. (2016). Characteristics of odors emitted from municipal wastewater treatment plant and methods for their identification and deodorization techniques. **Environ. Res.** 151, 573-586.

Luiz, S.; Valentim, A.F. **Lavanderia em jeans e a sustentabilidade em moda: comparativo entre processos tradicionais e ecológicos**. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/1058/tcc.sanara_luiz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 18 setembro de 2020.

Maes, A. de S.; Moore, J.; Hoinaski, L. Modelagem de dispersão de emissões veiculares implementando fontes pontuais e área. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30., Natal. **Anais...**Natal: ABES, 2019. p. 1- 6.

Mahin, T. Measurement and regulation of odours in the USA, Noise and Odor Division, The Ministry of the Environment, Japan.

Maia, J. de O.; Lima, J.C.L.; Carréra, Y.A. & Pereira Júnior, A. (2018). Modelo matemático para avaliação de impacto ambiental (AIA). **RBGA**, 12 (3), 18-28, 2018.

Malheiros, A. L.; Nocko, H. R.; Vissoto, S.; Engel, M. S.; Perazzoli, D. L.; Frantz, D. S. Modelagem de dispersão, monitoramento ambiental, olfatométrica e pesquisa de percepção: análise integrada de diferentes metodologias na avaliação de poluição atmosférica por substâncias odoríferas em complexo industrial. In: XVIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2014, Recife – PE. Anais XVIII CBMET, 2014.

Mandu, Júlio Braga. **Aplicação do modelo de dispersão AERMOD às emissões odorantes oriundas de um frigorífico**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

Manteigas, Mário. Controlo de odores em estações de tratamento de águas residuais tecnologias e exemplos de aplicação. 2000. Disponível em: <http://www.ecoservicos.pt/index_htm_files/Controlo_odores_ETAR.pdf>. Acesso em: 11 de out de 2020.

Matsumoto, Danielle. **Estudo de reator fotocatalítico para tratamento de gases contaminados com compostos orgânicos voláteis**. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

Melo Lisboa, H.; Quadros, M.E.; Carmo, G.N. da R.; Belli Filho, P.; Hoinaski, L.; Oliveira, V.V. de; Câmara, V.; Schirmer, W.N.; Godke, M. **Metodologias olfatométricas para a avaliação do impacto odorante**. 1 ed. Florianópolis: Prefixo editorial junto à Biblioteca Nacional: 913483, 2010. 48 p.

Melo Lisboa, H.; Page, T., & Guy, C. (2009). Gestão de odores: fundamentos do Nariz Eletrônico. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 14, 9-18.

Melo, A.M.V. de; Santos, J.M.; Mavroidis, I.; Reis Júnior, N.C. Modelling of odour dispersion around a pig farm building complex using AERMOD and CALPUFF. Comparison with wind tunnel results. **Building and Environment**, v. 56, p. 8-20, 2012.

Moreno-Silva, C.; Calvo, D.C.; Torres, N.; Ayala, L.; Gaitán, M.; González, L.; Ricón, P. Hydrogen sulphide emissions and dispersion modelling from a wastewater reservoir using flux chamber measurements and AERMOD® simulations. **Atmospheric Environment**, v. 224, p. 117263, 2020.

Patton, A. P., Milando, C., Durant, J. L., & Kumar, P. (2017). Assessing the suitability of multiple dispersion and land use regression models for urban traffic-related ultrafine particles. *Environmental science & technology*, 51(1), 384-392.

Piringer, M.; Schauburger, G. Environmental Odour: Emission, Dispersion, and the Assessment of Annoyance. **Atmosphere**, v. 11, n. 896, p. 1-4.

Portela, R.; Tessinari, R.F.; Suárez, S.; Rasmussen, S.B.; Hernández-Alonso, M.D.; Canela, M.C.; Ávila, P.; Sánchez, B. Photocatalysis for continuous air purification in wastewater treatment plants: from lab to reality. **Environmental science & technology**, v. 46, n. 9, p. 5040-5048, 2012.

Quadros, M.E.; Hoinaski, L.; Schirmer, W.N.; Melo Lisboa, H. O uso da fotocatalise para a desinfecção e desodorização do ar interno. **Ambiência**, v. 4, n. 2, p. 309-325, 2008.

Ranveer, A.C.; Latake, P.; Pawar, P. Odour pollution and and its measurement. **Int. J. for Res. in Appl. Sci. & Eng. Technol.**, v. 3, p. 221-229, 2015.

Recife. Lei nº 16.243, de 13 de setembro de 1996. Estabelece a política do meio ambiente da Cidade do Recife e consolida a sua legislação ambiental, mediante a instituição do

Código do Meio Ambiente e do Equilíbrio Ecológico da Cidade do Recife. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br>> Acesso em: 15 setembro de 2022.

Rezaali, M., & Fouladi-Fard, R. (2021). Aerosolized SARS-CoV-2 exposure assessment: dispersion modeling with AERMOD. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 2021, 19: 285-293.

Ribeiro, V.A. dos S.; Ferrari, A.M.; Tavares, C.R.G. Fotocatálise aplicada ao tratamento de efluentes de lavanderia de jeans: comparação entre TiO₂ e ZnO na eficiência de remoção de cor. **Brazilian Journal of Business**, v. 2, n. 3, p. 2788-2798, 2020.

Santa Catarina, Lei 14.675 de 13 de abril de 2009: Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências. Disponível em: http://www.sc.gov.br/downloads/Lei_14675.pdf. Acesso: 15 setembro de 2022.

Schirmer, W.N.; Lacey, M.E.Q.; Melo Lisboa, H. & Miranda, G.R. de. Características, natureza e métodos de amostragem/análise de gases odorantes emitidos em processos industriais: caso das lagoas de tratamento de efluentes. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 1, n. 2, p. 35-52, 2007.

Shivasankaran, N., Balan, A. V., Sankar, S. P., Magibalan, S., & Dinesh, C. M. (2020). Removal of hydrogen sulphide and odour from tannery & textile effluents. *Materials Today: Proceedings*, 21, 777-781.

Siqueira, Á.N.; Lima, M.C.G.; Aguiar, W.J.; Silva, J.F. & Selva, V.S. Lavanderia de jeans no município de Toritama – PE: entre a produção e a conservação ambiental. Cap. 32. In.: Nóbrega, R.S. et al. (Org.). **Reflexões sobre o semiárido: obra do encontro do pensamento geográfico**. 1 ed. Ananindeua: Itacaiúnas, 2017, p. 231-237.

Snatural Ambiente. Tratamento de água com enzimas e controle de odores. Disponível em: < <https://www.snatural.com.br/agua-controle-odores-enzimas-tratamento/> > Acesso em 6 de out de 2020.

Souto, Thaís Jeruzza Maciel Póvoas. **Estudo do comportamento químico e ambiental de efluentes industriais e resíduos sólidos oriundos de lavanderias do polo têxtil no agreste pernambucano**. 2017. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017.

Souza, Filipe Fernandes de Carvalho. **Comparação dos modelos aermod e symos'97 para o cálculo de dispersão de odores: um estudo de caso em uttenweiller**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

Talaiekhosani, A.; Bagheri, M.; Goli, A.; Khoozani, M.R.T. An overview of principles of odor production, emission, and control methods in wastewater collection and treatment systems. **Journal of environmental management**, v. 170, p. 186-206, 2016.

Telles, Marcela Aparecida dos Santos. **Levantamento das emissões de substâncias odoríferas da indústria cervejeira e seu monitoramento**. Trabalho de Conclusão de

Curso (Pós-Graduação em Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos Legais) – Escola Superior da CETESB, São Paulo, 2018.

Theobald, M. R., & Sutton, M. A. (2013). Improving the low-wind performance of the AERMOD atmospheric dispersion model for predicting short-range impacts of livestock ammonia emissions. In *Proceedings of 15th Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*.

Tian, S., & Bilec, M. (2018). Integrating site-specific dispersion modeling into life cycle assessment, with a focus on inhalation risks in chemical production. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 68(11), 1224-1238.

Vieira, Magnun Maciel. **Abordagem de procedimentos legais para o controle de incômodos olfativos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) –Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

Xavier, Twane Maria Cordeiro (2020). Polo de confecções do agreste de Pernambuco: formação de aglomerado produtivo e suas dinâmicas espaciais. **Caminhos de Geogr.**, 21 (73), 429-444.

Yang, Z., Gao, X., & Hu, W. (2021). Modeling the air pollutant concentration near a cement plant co-processing wastes. *RSC Advances*, 11(17), 10353-103643.

Zade, S., & Ingole, N. W. (2015). Air dispersion modelling to assess ambient air quality impact due to carbon industry. *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology*, 2(7), 45-53.