



## X- 667 - MODELAGEM DA DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS EM UM ATERRO SANITÁRIO

### **Viviane Tavares Silva<sup>(1)</sup>**

Graduada em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Alagoas.

### **Arthur Diegues Barros Rogério de Oliveira<sup>(2)</sup>**

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Alagoas.

### **Henrique Correia Moritz<sup>(3)</sup>**

Graduado em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Alagoas.

### **Karina Ribeiro Salomon<sup>(4)</sup>**

Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal de Lavras. Mestrado em Engenharia de Energia pela Universidade Federal de Itajubá. Doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá. Professora Associada IV do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Campus A.C. Simões, Universidade Federal de Alagoas, Av. Lourival Melo Mota, S/N - Tabuleiro do Martins - Maceió - AL - CEP: 57072-970 - Brasil - Tel: (82) 3214-1868 - e-mail: [viviane.silva@ctec.ufal.br](mailto:viviane.silva@ctec.ufal.br)

### **RESUMO**

Este artigo investigou a dispersão de metano e dióxido de carbono na Central de Tratamento de Resíduos em Pilar, Alagoas, utilizando o *software AERMOD* para simulação das concentrações ao longo de diferentes períodos. Os resultados revelaram concentrações máximas em períodos de uma hora, 24 horas e anual, atingindo valores de 9.981.618,43  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 9.873.039,49  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e 9.039.463,44  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Mapas de dispersão foram gerados para visualizar os impactos espaciais, destacando áreas de maior concentração ao redor da Central. A análise dos dados permitiu identificar padrões de dispersão, fornecendo subsídios cruciais para decisões embasadas em evidências científicas. A representação dinâmica dos picos de concentração através de mapas animados evidenciou a variabilidade temporal das emissões. Este estudo sublinha a importância da modelagem de dispersão atmosférica como ferramenta fundamental na gestão ambiental, contribuindo para estratégias de controle e mitigação eficazes e promovendo a sustentabilidade e a proteção da saúde pública e do meio ambiente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Emissões fugitivas, poluição atmosférica, aterros sanitários, Gases do Efeito Estufa (GEE), poluentes atmosféricos.

### **INTRODUÇÃO**

A gestão adequada de resíduos sólidos é uma preocupação crescente em todo o mundo, visando minimizar os impactos ambientais e promover a saúde pública. Conforme destacado pelo Ministério do Meio Ambiente (2019), "a destinação inadequada de resíduos pode acarretar consequências graves para o meio ambiente e para a qualidade de vida da população" (p. 25). Nesse contexto, as Centrais de Tratamento de Resíduos têm um papel crucial na redução desses impactos, porém, as emissões de poluentes atmosféricos, como metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), provenientes dessas instalações, têm suscitado atenção devido aos seus potenciais efeitos sobre o clima e a qualidade do ar.

A regulamentação da redução da poluição do ar no Brasil se baseia principalmente na Resolução CONAMA n° 491/2018, a qual determina os padrões que devem ser atendidos em relação à qualidade do ar. Além disso, a Resolução CONAMA n° 436/2011 desempenha um papel fundamental ao estabelecer os limites máximos permitidos para a emissão de poluentes atmosféricos provenientes de fontes fixas. O Ministério do Meio Ambiente categoriza como fontes fixas aquelas localizadas em regiões relativamente limitadas, tais como instalações industriais de processamento, setor de mineração e plantas de geração de energia, o que viabiliza uma avaliação direta no próprio local de emissão (MMA, s/a).



Em muitas regiões, a utilização de aterros sanitários é uma prática comum para o descarte de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), porém, essa atividade pode resultar na emissão de poluentes atmosféricos, incluindo Gases do Efeito Estufa (GEE) e substâncias tóxicas.

A modelagem da dispersão desses poluentes atmosféricos na CTR de Pilar torna-se relevante para avaliar o alcance e a magnitude dessas emissões. Através do uso de ferramentas computacionais especializadas, é possível simular a dispersão dos gases emitidos, levando em consideração fatores como a topografia local, padrões de vento e a composição dos resíduos. Isso permitirá uma compreensão mais abrangente dos potenciais riscos associados às emissões atmosféricas da central.

O conhecimento resultante deste estudo pode fornecer *insights* valiosos para a gestão de resíduos sólidos e para o monitoramento da qualidade do ar na região do município de Pilar. Ao compreender melhor os padrões de dispersão de poluentes atmosféricos, é possível tomar medidas proativas para minimizar os impactos ambientais e proteger a saúde da população.

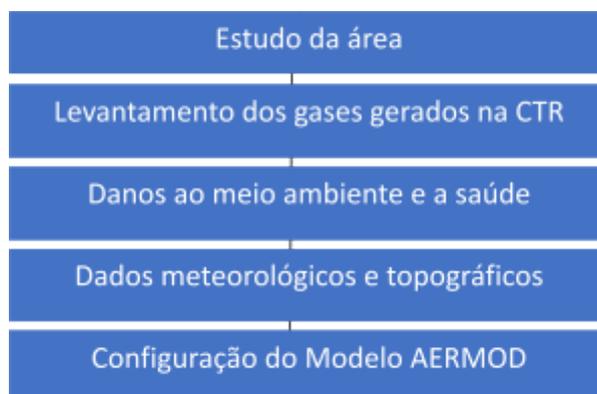
A crescente preocupação com os impactos ambientais das atividades humanas têm direcionado a atenção para a emissão de poluentes atmosféricos, especialmente em áreas com concentração de resíduos sólidos. A Central de Tratamento de Resíduos em Pilar, Alagoas, é uma dessas áreas, onde a emissão de poluentes, incluindo metano e dióxido de carbono, merece uma análise detalhada.

## OBJETIVO

Realizar uma avaliação abrangente da dispersão de poluentes atmosféricos em aterros sanitários no Estado de Alagoas, abordando diversos aspectos com o intuito de compreender e mitigar possíveis impactos ambientais. O trabalho será baseado na caracterização da área de estudo, coleta de dados meteorológicos e topográficos, levantamento das emissões de poluentes atmosféricos, modelagem da dispersão dos poluentes, análise dos parâmetros de qualidade do ar e avaliação dos problemas ambientais associados à dispersão de poluentes. Para isso, será utilizado o *software AERMOD View* para representação da dispersão.

## METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, foi adotada uma divisão em cinco tópicos principais, conforme ilustrado no fluxograma da Figura 1. Cada tópico abordou aspectos específicos relacionados à modelagem de dispersão atmosférica na Central de Tratamento de Resíduos em Pilar - Alagoas, utilizando o *software AERMOD*.



**Figura 1: Fluxograma da metodologia**

As metodologias utilizadas na pesquisa serão detalhadas a seguir:



- **ESTUDO DA ÁREA**

A área de estudo está geograficamente situada nas coordenadas 9°34'31" Sul e 35°56'04" Oeste, abrangendo uma extensão estimada de 774.112 m<sup>2</sup> e com perímetro de 4,16 km. Assim, realizando a delimitação do local de estudo traçando uma poligonal com base no aplicativo *Google Earth Pro*, conforme demonstrado na Figura 2. A localização geográfica estratégica da central em relação ao ambiente circundante é fundamental para compreender a dispersão dos poluentes atmosféricos emitidos durante o processo de degradação dos resíduos sólidos.



**Figura 2: Área de estudo**

O município de Pilar é caracterizado por sua importância como centro de gestão de resíduos sólidos, abrigando a Central de Tratamento de Resíduos, gerenciada pela empresa Alagoas Ambiental, que se torna objeto de estudo nesta pesquisa. A área de estudo compreende tanto as instalações da central em si, incluindo áreas de descarte de resíduos e sistemas de captação de gases, quanto às áreas circundantes que podem ser potencialmente afetadas pelas emissões atmosféricas resultantes do processo de decomposição anaeróbica.

A CTR é pioneira no estado de Alagoas a instalar a primeira usina de biogás, que transforma o metano dos resíduos em energia elétrica. Assim, a conversão do metano em energia reduzirá, segundo estimativas, a emissão na atmosfera de mais de 600 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano (Meio Ambiente e Turismo, 2022).

- **LEVANTAMENTO DOS GASES GERADOS NA CTR**

Referente às taxas de emissão dos gases em análise, os dados da CTR de Pilar não estavam disponíveis. Sendo assim, tomou-se como base o estudo publicado por Silva et al. (2020), tratando-se da CTR de Maceió, capital alagoana. No escopo desta pesquisa, a análise da dispersão de metano e dióxido de carbono considerou a exclusão das composições dos demais gases contidos no biogás, devido à sua baixa concentração. Entretanto,



é importante mencionar que esses gases, como o Sulfeto de Hidrogênio ( $H_2S$ ), embora em menor proporção, mantém sua relevância. O  $H_2S$ , por exemplo, é responsável pelo odor desagradável presente no biogás.

Além disso, é essencial expor que a taxa de emissão, para fins de inserção no *software*, deve estar expressa em g/s. Nesse sentido, as vazões volumétricas parciais dos gases foram ajustadas pelas suas densidades respectivas, que são  $0,717 \text{ kg/m}^3$  para o metano e  $1,977 \text{ kg/m}^3$  para o dióxido de carbono.

Sendo assim, foram obtidos os valores definidos na Tabela 1 para a taxa de emissão de metano e dióxido de carbono na Central de Tratamento de Resíduos a serem inseridos no *AERMOD VIEW*.

**Tabela 1: Taxa de emissão  $CH_4$  e  $CO_2$**

| Gás                | Taxa de emissão (g/s) |
|--------------------|-----------------------|
| Metano             | 1,73                  |
| Dióxido de Carbono | 3,5                   |

#### • DANOS AO MEIO AMBIENTE E A SAÚDE

O metano ( $CH_4$ ) é um potente gás de efeito estufa, com um potencial de aquecimento global (GWP) aproximadamente 28-36 vezes maior que o do dióxido de carbono em um horizonte de 100 anos (IPCC, 2021). Sua contribuição para o aquecimento global é significativa, levando a alterações climáticas que podem resultar na perda de biodiversidade e habitats naturais (EPA, 2021; SOLOMON et al., 2007). Além disso, a decomposição do metano na atmosfera pode gerar ozônio troposférico, que é prejudicial à saúde humana, causando problemas respiratórios e agravando doenças como a asma (WEST et al., 2006; WHO, 2021). Em concentrações elevadas, o metano é inflamável e pode causar explosões, representando riscos em minas e instalações de armazenamento de gás (SMITH et al., 2005; OSHA, 2021).

O dióxido de carbono ( $CO_2$ ) é o principal gás de efeito estufa emitido pelas atividades humanas, responsável por cerca de 76% das emissões globais de gases de efeito estufa (IPCC, 2021). O  $CO_2$  contribui significativamente para o aquecimento global e as mudanças climáticas, o que pode resultar em eventos climáticos extremos, derretimento de geleiras e elevação do nível do mar (NASA, 2022; IPCC, 2014). Além disso, a absorção de  $CO_2$  pelos oceanos causa acidificação, afetando negativamente os ecossistemas marinhos, incluindo corais e moluscos (DONEY et al., 2009; NOAA, 2022). O aumento das temperaturas devido ao aquecimento global pode intensificar ondas de calor, resultando em desidratação, insolação e aumento da mortalidade (CONFALONIERI et al., 2007; WHO, 2022). A poluição do ar exacerbada pelo aquecimento global também pode aumentar a concentração de alérgenos e piorar as doenças respiratórias (EBI & MCGREGOR, 2008; EPA, 2022).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece normas e padrões para o controle da poluição do ar, por meio da Resolução CONAMA nº 03/1990, que dispõe sobre padrões de qualidade do ar. No entanto, essa resolução não estabelece limites específicos para metano ( $CH_4$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ).

Para o metano, apesar de não haver um limite específico na Resolução CONAMA nº 03/1990, ele é considerado um gás de efeito estufa importante, e a legislação brasileira possui iniciativas voltadas para a redução das emissões desse gás, como o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC), que promove ações para reduzir as emissões de gases de efeito estufa na agricultura, incluindo o metano.

Já para o dióxido de carbono, os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 03/1990 são para partículas inaláveis ( $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$ ), dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), monóxido de carbono (CO), ozônio ( $O_3$ ) e óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ).



- **DADOS METEOROLÓGICOS E TOPOGRÁFICOS**

Segundo Seinfeld e Pandis (2016), a meteorologia é fundamental para a modelagem da dispersão atmosférica, pois fatores como velocidade e direção do vento, temperatura, umidade e estabilidade atmosférica determinam o transporte e a diluição de poluentes na atmosfera. As condições meteorológicas afetam tanto a dispersão horizontal quanto a vertical dos poluentes.

De acordo com o estudo de Hanna et al. (1982), a topografia desempenha um papel significativo na modelagem da dispersão atmosférica. Elementos topográficos, como montanhas, vales e edifícios urbanos, podem criar efeitos de canalização e bloqueio do vento, além de influenciar a formação de microclimas locais. Essas características podem afetar a distribuição e a concentração de poluentes em diferentes áreas.

A pesquisa de Stull (1988) destaca que a interação entre fatores meteorológicos e topográficos pode resultar em fenômenos complexos, como inversões térmicas, que prendem poluentes próximos à superfície terrestre, aumentando as concentrações de poluentes em áreas específicas. A modelagem precisa da dispersão atmosférica deve levar em consideração esses fatores para fornecer previsões precisas.

Sendo assim, a topografia local, ventos, vegetação e proximidade a áreas habitadas influenciam a dispersão de poluentes na região. Analisar essa área ajuda na gestão ambiental, estratégias de mitigação e decisões para saúde pública e meio ambiente.

A localização estratégica em relação a corpos d'água, vias de transporte e áreas urbanas é essencial para avaliar os impactos das emissões. Detalhes da área são cruciais para uma modelagem precisa e interpretação dos resultados.

Dados meteorológicos, como nuvens, temperatura, umidade, vento, chuva e radiação solar, foram usados na modelagem. Registros da estação meteorológica no Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares foram processados para os anos 2020 e 2021 por Oliveira (2022) com *Lakes-AERMET* (Thé, 2022).

- **CONFIGURAÇÃO DO MODELO *AERMOD***

O *software AERMOD* foi escolhido para a realização da modelagem de dispersão atmosférica deste trabalho devido à sua ampla utilização e reconhecimento na comunidade científica e ambiental. *AERMOD* é recomendado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) para modelagem de dispersão atmosférica de poluentes atmosféricos, e é amplamente utilizado em estudos de impacto ambiental, planejamento urbano e industrial, entre outros (EPA, 2022).

Na configuração do modelo, foi definida a localização geográfica do aterro sanitário, inserindo os dados meteorológicos processados e as taxas de emissão de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>. A simulação de dispersão foi realizada a partir das fontes de emissão na Central de Tratamento de Resíduos, conforme apresentado nas Figuras 3, 4 e 5.

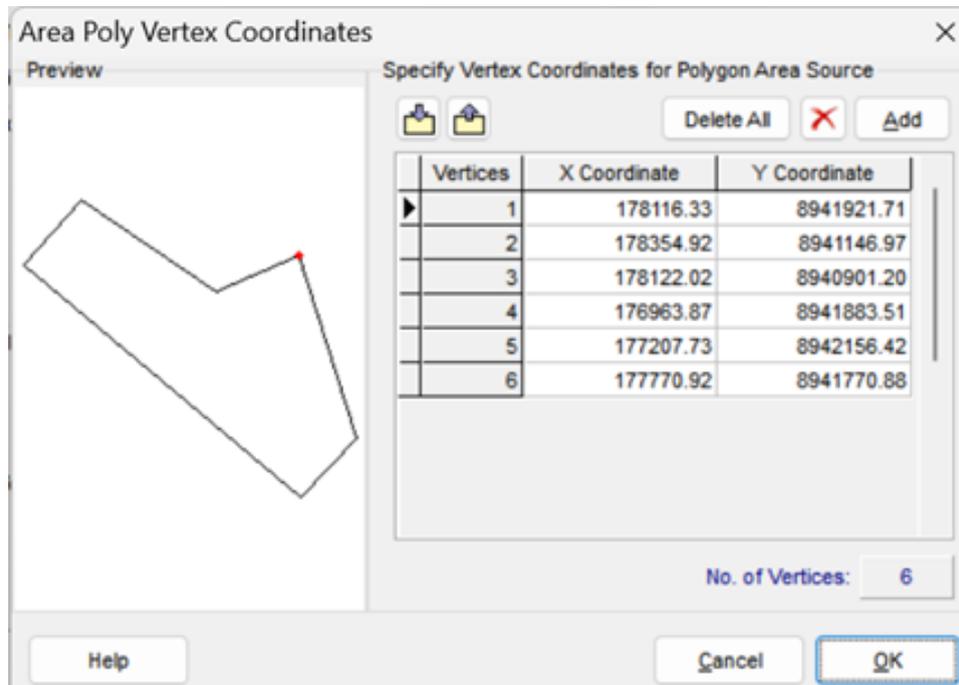
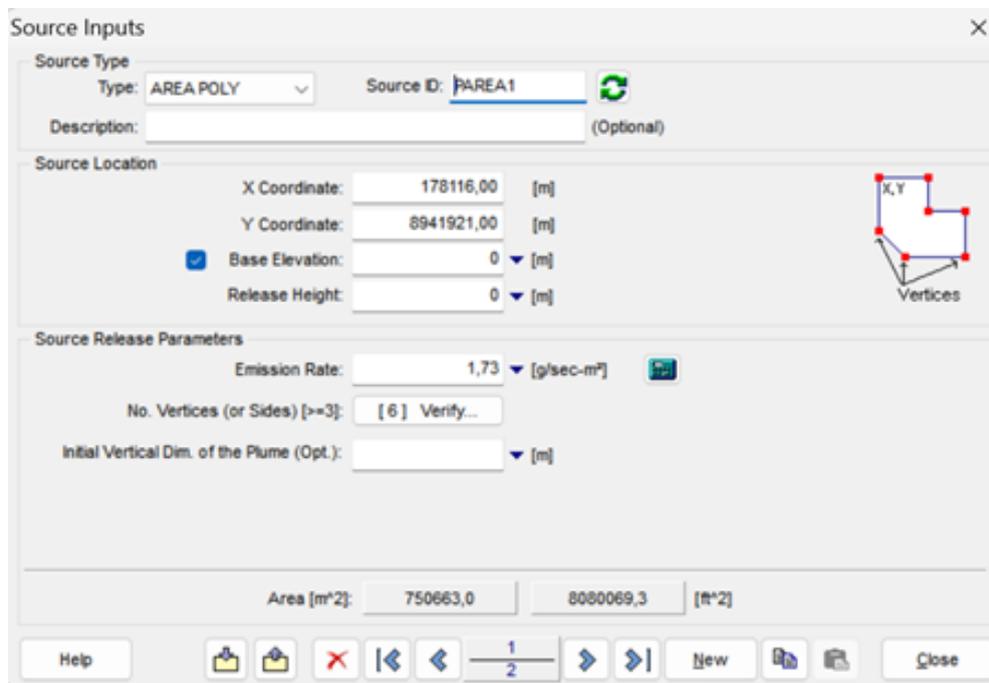


Figura 3: Seis pontos para delimitação da área de estudo no *AERMOD*.



Figuras 4: Alimentação da taxa de emissão do metano no *software AERMOD*.



Figuras 5: Alimentação da taxa de emissão do dióxido de carbono no *software* AERMOD.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos dados meteorológicos e das taxas de emissão dos gases inseridos no *software*, foi possível inicialmente obter e analisar a rosa dos ventos (Figura 6). Os resultados revelaram uma predominância da direção do vento para leste, sul e norte, com velocidades variando entre 2 m/s e 11 m/s.

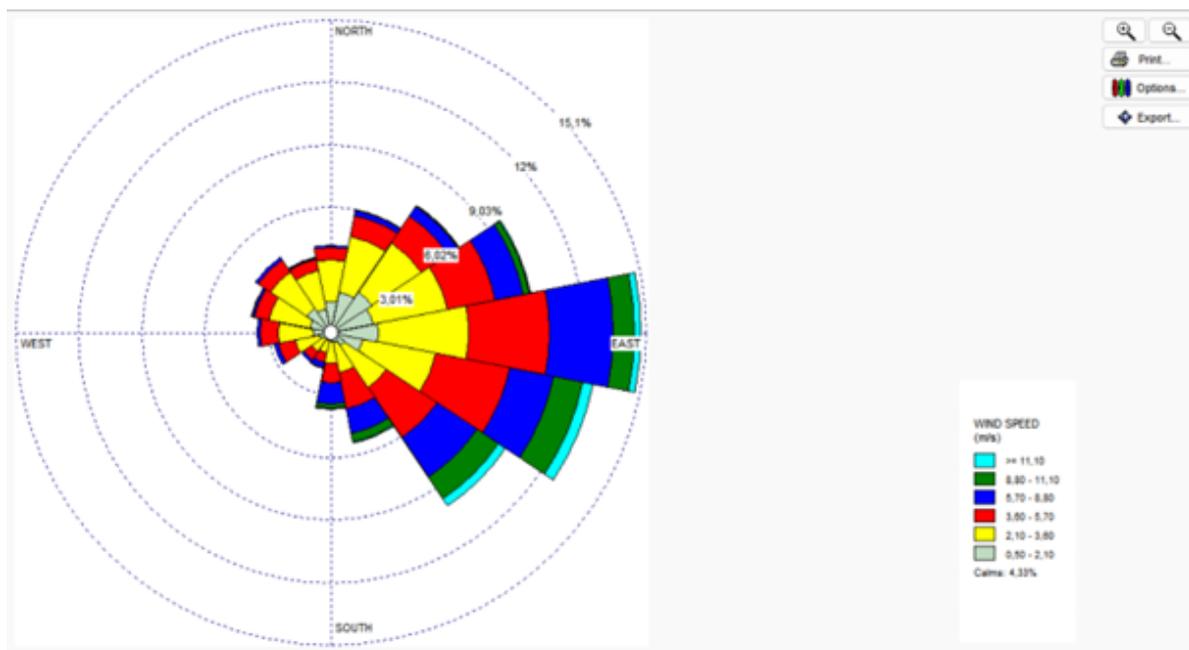


Figura 6: Rosa dos ventos gerada pelo AERMET.

A modelagem de dispersão atmosférica na Central de Tratamento de Resíduos em Pilar, Alagoas, utilizando o *software AERMOD*, revelou padrões significativos de concentração de poluentes, com foco em metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). A análise das concentrações máximas em diferentes períodos - uma hora, 24 horas e anual - proporcionou *insights* valiosos sobre o impacto das emissões atmosféricas na área circundante. Esses resultados são essenciais para avaliar os possíveis riscos à saúde pública e ao meio ambiente e podem subsidiar a implementação de medidas de controle e mitigação adequadas.

Durante o período de uma hora, foram observadas concentrações máximas de 9.907.194,99317 µg/m<sup>3</sup> de metano e 9.834.170,43262 µg/m<sup>3</sup> de dióxido de carbono. Esses valores destacam um pico associado à degradação de resíduos e a condições meteorológicas específicas durante esse período. Essas informações são cruciais para entender os picos de concentração de poluentes e para orientar ações de controle e mitigação na CTR.

Ao longo de 24 horas, as concentrações máximas foram de 9.747.568,41006 µg/m<sup>3</sup> para metano e 9.833.281,59887 µg/m<sup>3</sup> para dióxido de carbono. Esses valores refletem as influências acumuladas das condições atmosféricas e das atividades na Central de Tratamento de Resíduos ao longo do dia.

A concentração máxima anual considerou variações sazonais e climáticas, estimando 2.990.109,32268 µg/m<sup>3</sup> para metano e 6.049.354,12104 µg/m<sup>3</sup> para dióxido de carbono. Esses números representam a exposição média anual da área às emissões do aterro, proporcionando uma visão abrangente dos impactos a longo prazo dessas emissões na região. Essas informações são essenciais para a gestão ambiental e o planejamento de medidas de controle e mitigação adequadas.

Sendo mais exemplificado, segue a Tabela 2 detalhando as concentrações exportadas do *AERMOD*.

**Tabela 2: Concentrações máximas encontradas.**

| Tempo    | Gás                | Taxa de emissão (µg/m <sup>3</sup> ) |
|----------|--------------------|--------------------------------------|
| 1 hora   | Metano             | 9907194,99317                        |
| 1 hora   | Dióxido de Carbono | 9834170,43262                        |
| 24 horas | Metano             | 9747568,41006                        |
| 24 horas | Dióxido de Carbono | 9833281,59887                        |
| 1 ano    | Metano             | 2990109,32268                        |
| 1 ano    | Dióxido de Carbono | 6049354,12104                        |

Os resultados da modelagem de dispersão atmosférica na Central de Tratamento de Resíduos em Pilar, Alagoas, usando o *software AERMOD*, revelaram padrões significativos de concentração de poluentes atmosféricos, com foco nas emissões de metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). A análise das concentrações máximas em diferentes períodos - uma hora, 24 horas e anual - proporciona *insights* valiosos sobre o impacto potencial das emissões atmosféricas na área circundante.

Durante o período de uma hora, as simulações demonstraram uma concentração máxima de metano e dióxido de carbono de 9.907.194,99317 µg/m<sup>3</sup> e 9.834.170,43262 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Esse valor indica um pico de concentração atmosférica associado ao processo de degradação dos resíduos e às condições meteorológicas específicas durante esse intervalo.

No período de 24 horas, a concentração máxima de poluentes atmosféricos foi calculada em 9.747.568,41006 µg/m<sup>3</sup> e 9.833.281,59887 µg/m<sup>3</sup>, para o metano e dióxido de carbono, respectivamente. Essa média ao longo do dia reflete a soma das influências das diferentes condições atmosféricas e atividades na Central de Tratamento de Resíduos, proporcionando uma visão mais abrangente do impacto cumulativo.



A concentração máxima anual, que considera as variações sazonais e climáticas ao longo de todo o ano, foi estimada para o metano em 2.990.109,32268  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e para o dióxido de carbono em 6.049.354,12104  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Esse valor representa a exposição média anual da área circundante às emissões de metano e dióxido de carbono da CTR.

Análises dos mapas de concentração de gases revelam padrões de dispersão, com áreas próximas às fontes de emissão apresentando maiores concentrações e uma diminuição gradual conforme a distância aumenta, refletindo a dispersão dos poluentes.

As representações gráficas da dispersão durante o período analisado, produzidas por meio do *software AERMOD*, estão disponíveis nas Figuras 7 a 12. Adicionalmente, é exibido o mapa de dispersão que corresponde ao dia e horário de máxima concentração, mencionado anteriormente, obtido através da animação da pluma atmosférica.

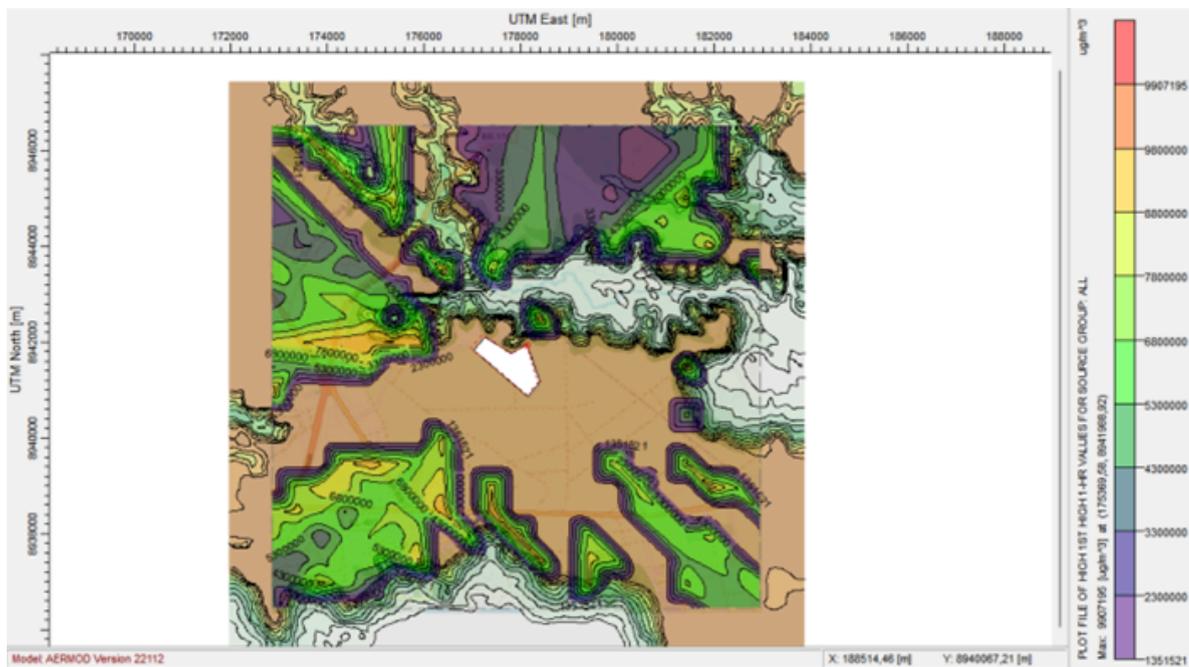


Figura 7: Mapa de dispersão do poluente (metano) no período de uma hora.

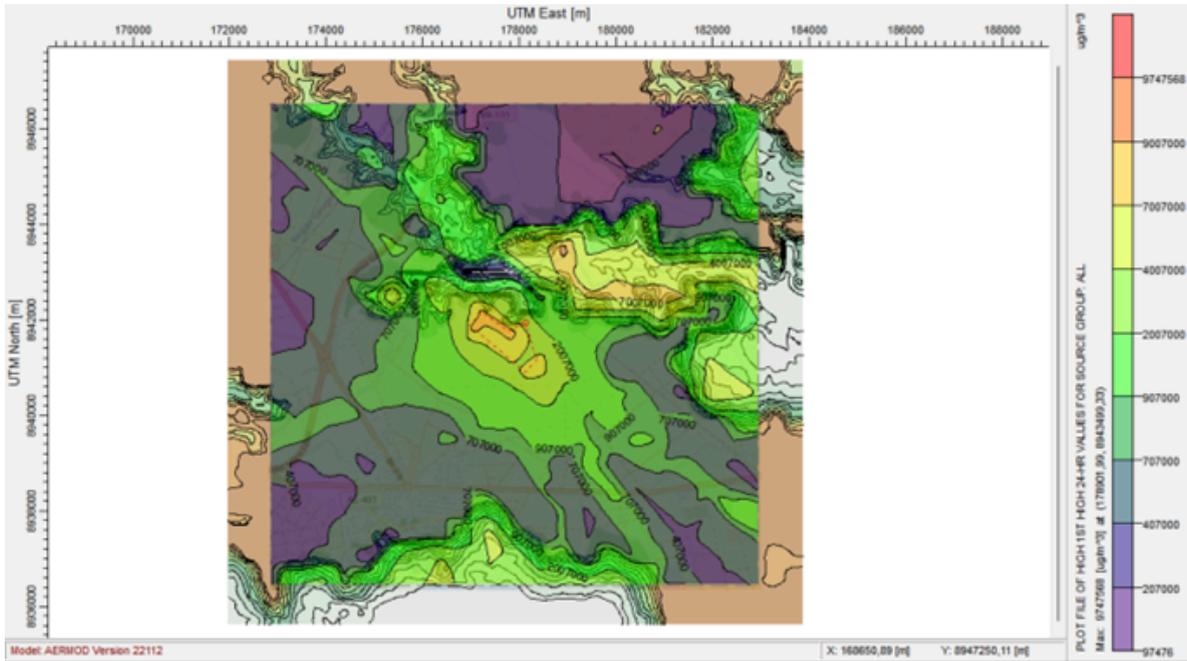


Figura 8: Mapa de dispersão do poluente (metano) no período de vinte e quatro horas.

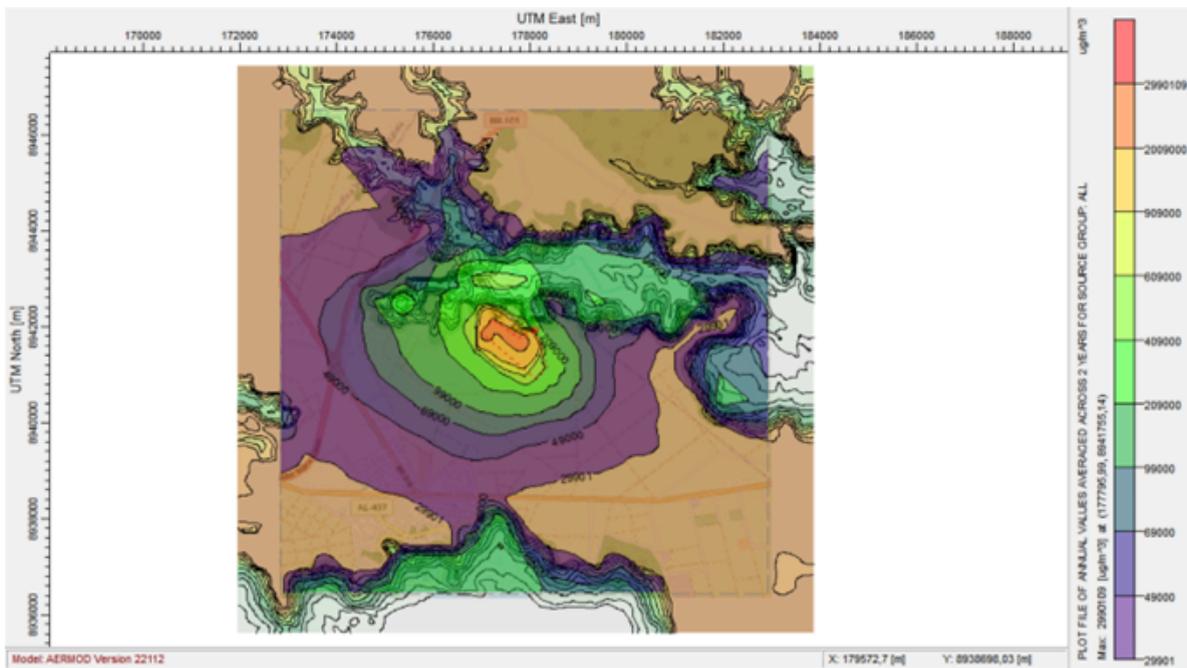


Figura 9: Mapa de dispersão do poluente (metano) no período anual.

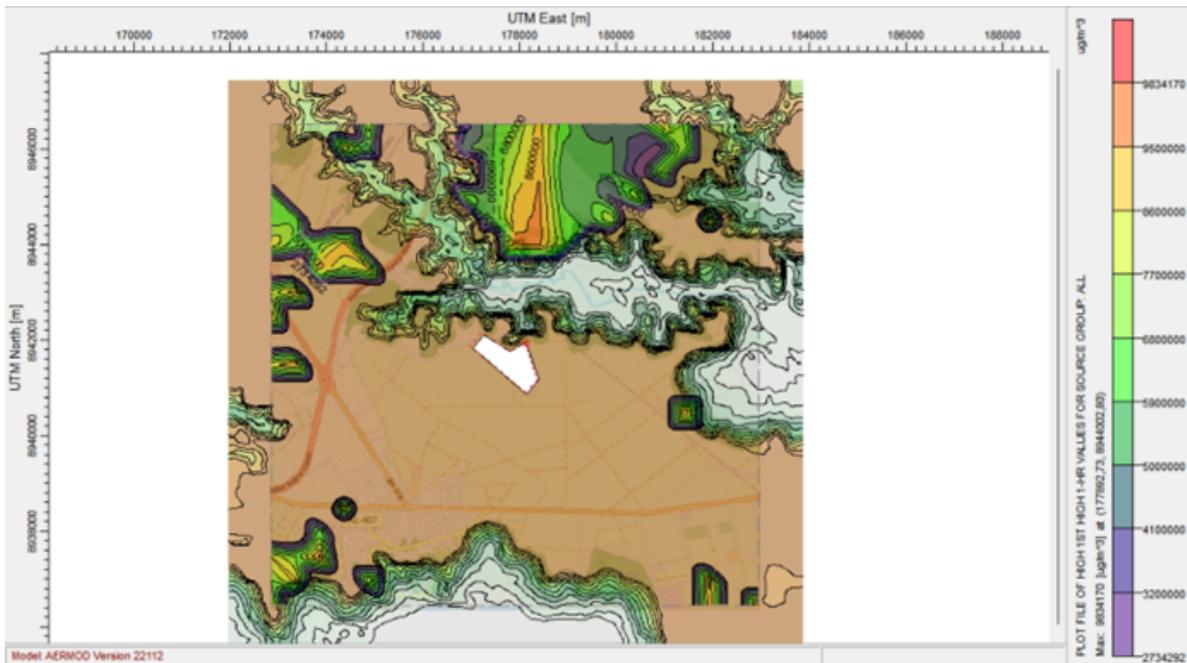


Figura 10: Mapa de dispersão do poluente (dióxido de carbono) no período de uma hora.

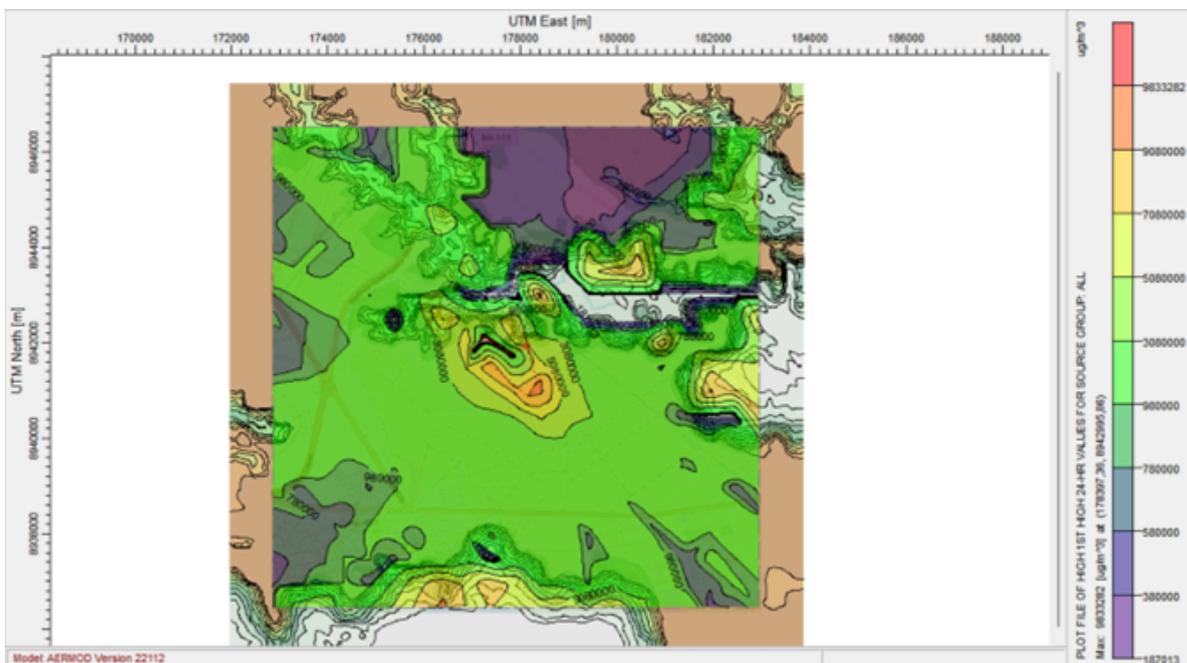
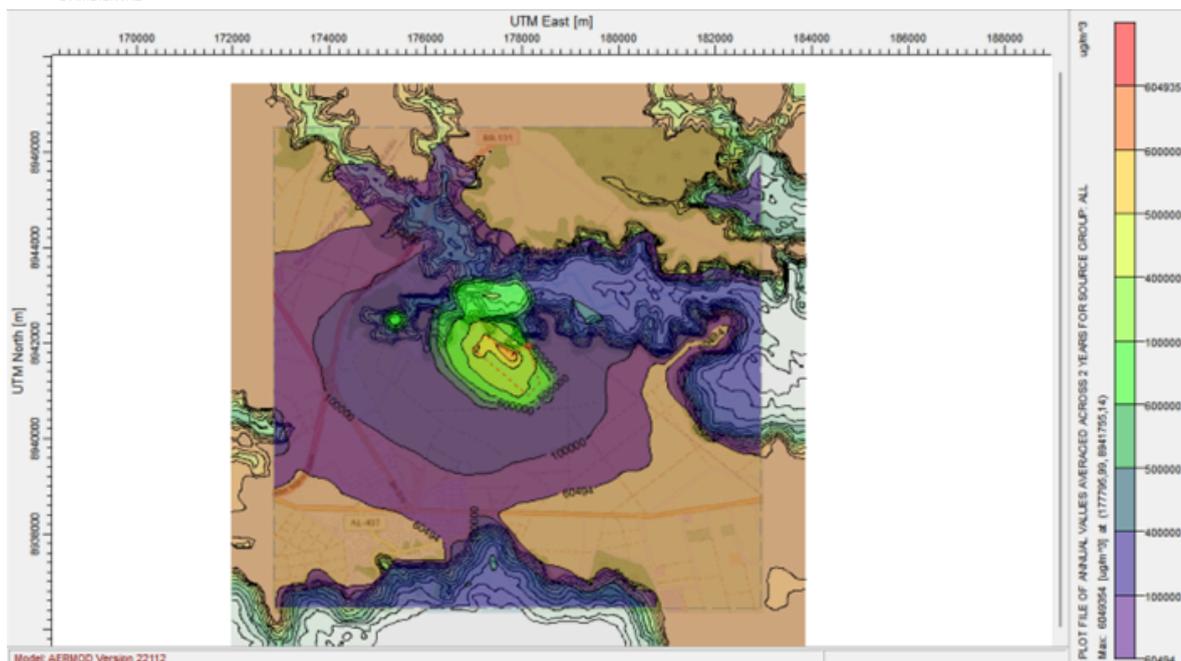


Figura 11: Mapa de dispersão do poluente (dióxido de carbono) no período de vinte quatro horas.



**Figura 12: Mapa de dispersão do poluente (metano) no período anual.**

Os resultados da modelagem destacam os impactos significativos da dispersão de poluentes atmosféricos provenientes da Central de Tratamento de Resíduos. As concentrações elevadas de metano e dióxido de carbono em diferentes períodos ressaltam a importância de compreender os padrões de emissão e os fatores meteorológicos que influenciam a dispersão desses poluentes.

Essas concentrações elevadas têm implicações diretas para a qualidade do ar na área circundante. O metano, em particular, é um potente gás de efeito estufa, contribuindo significativamente para as mudanças climáticas. Além disso, tanto o metano quanto o dióxido de carbono podem representar riscos para a saúde pública quando presentes em altas concentrações, podendo causar problemas respiratórios e cardiovasculares, entre outros.

Para mitigar esses impactos, são necessárias soluções abrangentes que abordem a gestão de resíduos, o controle de emissões e o planejamento urbano. A colaboração entre as autoridades locais, agências reguladoras e a população é fundamental para implementar medidas eficazes de redução de poluentes e para promover a conscientização sobre os riscos associados à exposição a esses poluentes atmosféricos. A implementação de tecnologias mais limpas e práticas de gestão sustentável de resíduos também pode desempenhar um papel crucial na redução das emissões de metano e dióxido de carbono.



## CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo aplicar as taxas de emissões de biogás da Central de Tratamento de Resíduos (CTR) de Pilar - AL no *software* para analisar a dispersão dos poluentes. No entanto, devido à falta de dados do município, foram utilizados os dados das taxas dos gases do aterro sanitário da cidade de Maceió, aplicando-os nas coordenadas de Pilar para verificar o alcance. Assim, foi possível dar continuidade à pesquisa e alcançar o objetivo da simulação e obtenção da dispersão dos poluentes.

A modelagem de dispersão atmosférica por meio do *software AERMOD* proporcionou uma compreensão abrangente dos padrões de dispersão de metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) provenientes da CTR de Pilar - Alagoas. Os resultados destacam a importância de estratégias de gestão ambiental para mitigar os impactos das emissões atmosféricas, promovendo a saúde pública e a proteção do meio ambiente.

Embora a Resolução CONAMA nº 03/1990 estabeleça padrões de qualidade do ar para diversos poluentes, não foram identificados limites específicos para o metano e o dióxido de carbono. Essa lacuna ressalta a importância de futuras normativas considerarem esses poluentes, dada sua relevância para a qualidade do ar e para o contexto das mudanças climáticas. A inclusão de limites específicos para o  $\text{CH}_4$  e o  $\text{CO}_2$  ajudaria a orientar ações e políticas públicas voltadas para a redução desses gases, contribuindo para a proteção da saúde pública e do meio ambiente.

A análise das concentrações máximas em diferentes períodos fornece uma visão detalhada dos impactos das emissões de poluentes atmosféricos na CTR de Pilar, Alagoas. Os resultados ressaltam a importância de estratégias de gestão e controle das emissões para mitigar os riscos à saúde pública e ao meio ambiente. A modelagem da dispersão de poluentes atmosféricos é uma ferramenta valiosa para orientar a tomada de decisões e promover práticas mais sustentáveis na gestão de resíduos.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alagoas, Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. (2018). Resolução SEMARH nº 123: Dispõe sobre o Licenciamento Ambiental para Centrais de Tratamento de Resíduos. Maceió.
2. ALVES da Nóbrega, L. Universidade Federal da Paraíba Centro de Ciências Exatas e da Natureza Programa de Pós-graduação em Modelos de Decisão e Saúde - Doutorado Impacto da Poluição Atmosférica e Fatores Climáticos na Ocorrência de Asma. [s.l: s.n.].
3. ARAÚJO, Liz & Ferreira, Riadny & Norberto, Alison & Mariano, Maria & Callado, Nelia. (2020). Análise temporal de parâmetros ambientais do lixo do aterro sanitário de Maceió-AL, Brasil. Research, Society and Development. 9. 594974435. 10.33448/rsd-v9i7.4435.
4. BRAGA, A. L. F.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. H. N. Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana. Faculdade de Medicina da USP, São Paulo. 2002.
5. BRASIL, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada - RDC Nº 222, de 28 de dezembro de 2018.
6. BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. (2019). Manual de Avaliação de Impacto Ambiental. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.
7. BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. (2019). Manual de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.
8. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.º 05, de 15 de junho de 1989. Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar - PRONAR. Publicado no Diário Oficial da União, de 25/08/89, Seção I, p. 14.713-14.714.
9. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.º 18, de 06 de maio de 1986. Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores – PROCONVE. Publicado no Diário Oficial da União, de 17/06/86.
10. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.º 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Publicado no Diário Oficial da União, de 21/11/2018, Edição 223, Seção:1, p. 155.
11. CONFALONIERI, U. et al. Human health. In: PARRY, M. L. et al. (Ed.). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 391-431.
12. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução CONAMA nº 03, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 jul. 1990. Seção 1, p. 12433.
13. DONEY, S. C. et al. Ocean acidification: the other CO<sub>2</sub> problem. Annual Review of Marine Science, v. 1, p. 169-192, 2009.
14. EBI, K. L.; MCGREGOR, G. Climate change, tropospheric ozone and particulate matter, and health impacts. Environmental Health Perspectives, v. 116, n. 11, p. 1449-1455, 2008.
15. EPA. (2022). AERMOD Modeling System. Disponível em: <https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-aermod>. Acesso em: 01 jun. 2024.
16. EPA. Overview of Greenhouse Gases. Disponível em: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>. Acesso em: 01 jun. 2024.
17. HANNA, S. R.; BRIGGS, G. A.; HOSKER, R. P. Handbook on Atmospheric Diffusion. Washington, D.C.: Technical Information Center, U.S. Department of Energy, 1982.
18. IPCC. (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
19. IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Geneva: IPCC, 2014.
20. IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.
21. Maceió, Prefeitura Municipal. (2017). Lei Municipal nº 8.900: Dispõe sobre a Gestão de Resíduos Sólidos no Município de Maceió. Maceió.
22. Meio Ambiente e Turismo. Disponível em: <https://meioambienteeturismo.blogsdagazetaweb.com/2022/03/20/primeira-usina-de-biogas-de-alagoas-e-inaugurada/>. Acesso em: 31 mar. 2024.
23. Mendes, L. M. Emissões de Gases do Efeito Estufa em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Revisão. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2014.



24. MORITZ, Henrique Correia et al. Modelagem de dispersão atmosférica do metano e do dióxido de carbono a partir das emissões de biogás no aterro sanitário de Maceió/AL. 2022.
25. NASA. Climate Change: How Do We Know? Disponível em: <https://climate.nasa.gov/evidence/>. Acesso em: 01 jun. 2024.
26. NOAA. Ocean Acidification: The Other CO<sub>2</sub> Problem. Disponível em: <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts/ocean-acidification>. Acesso em: 01 jun. 2024.
27. Oliveira, C. R., Santos, A. B., & Costa, M. J. (2018). Avaliação da Qualidade do Ar nas Proximidades de Aterros Sanitários: Estudo de Caso em Maceió, Alagoas. Revista Brasileira de Meio Ambiente, 12(2), 45-60.
28. OSHA. Methane. Disponível em: <https://www.osha.gov/methane>. Acesso em: 16 jun. 2024.
29. SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change. 3rd ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2016.
30. SMITH, K. et al. Managing the health effects of climate change. The Lancet, v. 386, n. 9991, p. 1861-1914, 2015.
31. SOLOMON, S. et al. Technical summary. In: SOLOMON, S. et al. (Ed.). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 19-91.
32. STULL, R. B. An Introduction to Boundary Layer Meteorology. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988.
33. WEST, J. J. et al. Global health benefits of mitigating ozone pollution with methane emission controls. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 103, n. 11, p. 3988-3993, 2006.
34. WHO. Air Pollution and Health. Disponível em: <https://www.who.int/health-topics/air-pollution>. Acesso em: 01 jun. 2024.
35. WHO. Climate Change and Health. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>. Acesso em: 01 jun. 2024.