



MONITORAMENTO E ANÁLISE DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA GERADA POR QUEIMADAS DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO ALTO SERTÃO PERNAMBUCANO UTILIZANDO TECNOLOGIAS DE BAIXO CUSTO

Lara Rodrigues da Silva², Pablo Francisco Honorato Sampaio¹, Davi Isidio Castro²,
Juliana Barbosa da Silva², Fernanda Freitas Fernandes¹

¹IFPB - Campus Patos. ²IFPB - Campus Princesa Isabel.
Autor(a) para correspondência: pablo.sampaio@ifpb.edu.br

Resumo: Este trabalho investigou a poluição atmosférica decorrente da queima de resíduos sólidos no povoado Santana de Almas, em Flores-PE, por meio da construção e aplicação de um protótipo baseado em Arduino UNO equipado com sensores de baixo custo. O sistema utilizou o sensor MQ-135, capaz de detectar gases tóxicos como amônia, dióxido de carbono, benzeno e óxidos de nitrogênio, além do sensor DHT11 para monitorar temperatura e umidade. Os dados foram registrados em tempo real e armazenados em cartão microSD, permitindo análises em três coletas distintas realizadas em diferentes condições climáticas. Os resultados revelaram variações significativas nos níveis de poluentes, com indícios de ultrapassagem de limites considerados seguros por órgãos reguladores. Também foram observadas discrepâncias entre sensores, apontando a necessidade de calibração e ajustes técnicos no protótipo. Apesar dessas limitações, o estudo confirmou o potencial do uso de sensores de baixo custo para o monitoramento preliminar da qualidade do ar em áreas rurais. Os achados reforçam a urgência de políticas públicas, práticas educativas e ações sustentáveis para mitigar os impactos da poluição, assegurando a preservação ambiental e a proteção da saúde da população local.

Palavras-chave: MQ-135; meio ambiente; sensores; resíduos sólidos.

1 INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica é uma problemática que tem se tornado cada vez mais persistente no cotidiano social, visto que é causa direta e principal das mudanças climáticas que têm ocorrido em escala global nas últimas décadas, sendo responsável por ocasionar a morte de mais de 8 milhões de pessoas anualmente no mundo (Dominski et al, 2021, p. 3). Além disso, Dominski et al (2021, p. 3) também afirma que a poluição do ar é um problema que afeta significativamente a saúde pública no país, estando entre as causas de diversas doenças cardiovasculares e respiratórias.

Nesse sentido, a incineração de resíduos sólidos tem contribuído sobremaneira para o



Cuidar do planeta, cuidar das pessoas:

Cultura Oceânica e Educação Inclusiva para uma Sociedade Sustentável

aumento significativo da emissão dos gases de efeito estufa e daqueles prejudiciais à saúde humana, problema este que se acentua ainda mais nas regiões rurais do país. Para Silva (2025), essa prática nociva decorre do manejo inadequado do lixo, especialmente nas pequenas comunidades interioranas do alto sertão pernambucano, regiões que sofrem de maneira ampliada com essas problemáticas devido a sua alta distância com relação aos grandes centros urbanos.

Desta forma, este trabalho - escrito com base no TCC homônimo da autora Silva (2025) - teve por objetivo analisar a poluição atmosférica decorrente da queima de resíduos sólidos no povoado Santana de Almas, no município de Flores, Pernambuco. A pesquisa foi realizada mediante o emprego de um protótipo de baixo custo composto por uma placa Arduino integrada a sensores diversos que possibilitam a medição e detecção de gases poluentes com vistas a permitir o monitoramento da qualidade do ar na região em que será feita a coleta de dados. A partir deste estudo, deve ser possível respaldar com concretude políticas públicas que visem a preservação do meio ambiente em favor da melhoria da saúde pública local. Ademais, pode-se compreender os impactos destas práticas nocivas nas populações rurais e nos locais onde habitam, promovendo o conhecimento de métodos mais sustentáveis para substituir estes vigentes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Os impactos da poluição atmosférica vão para além das esferas sociais e da saúde humana, uma vez que representam grande parte dos efeitos nocivos sofridos pelo meio ambiente em escala global nos últimos anos (Silva, 2025). Nesse contexto, a emissão dos gases poluentes se destaca como uma das principais fontes da acentuação dessa problemática, uma vez que, liberados esses compostos no ar, estes podem se acumular no solo e corpos d'água, ocasionando na contaminação de áreas naturais utilizadas por pessoas e animais para fins, por muitas vezes, de subsistência.

No que se refere ao manejo inadequado de resíduos, entende-se que essa problemática afeta significativamente as populações em situação de vulnerabilidade ou habitantes de localidades mais remotas, dado a falta de serviços de reciclagem e coleta seletiva de resíduos



Cuidar do planeta, cuidar das pessoas:

Cultura Oceânica e Educação Inclusiva para uma Sociedade Sustentável

nas regiões mais periféricas, o que, por consequência, exige que essas pessoas tenham de adotar más práticas para controlar o acúmulo do lixo em suas residências, a exemplo da incineração dos resíduos. Com isso, altas concentrações de gases poluentes - como o dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio e monóxido de carbono - são liberados na atmosfera (Santos et al, 2021), sendo este último altamente tóxico para o sistema respiratório humano, uma vez que, ao ser inalado, provoca o efeito de asfixia no indivíduo.

Diante do exposto, evidencia-se a efetividade do uso de sensores de gás para o monitoramento ambiental de contextos em que há um alto índice de fontes de poluição atmosférica. Para Silva (2025), além de proporcionarem dados que viabilizam a elaboração de análises sucintas e de grande relevância para os cenários acadêmico, social e científico regionais, esses dispositivos possuem ótima relação custo-benefício, de modo a auxiliar na produção de pesquisas sem demandar investimento financeiro significativo. Entretanto, deve-se observar a necessidade intrínseca de se realizar a devida calibração destes sensores, observados os fatores climáticos regionais e limitações tecnológicas inerentes a essas ferramentas (Silva, 2025).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a efetiva coleta dos dados referentes às concentrações de gases poluentes emitidos pelas queimas dos resíduos sólidos no local de pesquisa e posterior análise desses quantitativos, foi proposto para o presente trabalho a utilização de um protótipo confeccionado a partir de tecnologias acessíveis e de baixo custo que pudesse realizar a medição das informações pertinentes ao objeto de pesquisa, bem como possibilitasse o monitoramento ambiental e, mais especificamente, da qualidade do ar no povoado Santana de Almas, no município de Flores, Pernambuco. Para tanto, empregou-se um sistema embarcado em uma placa Arduino UNO, considerada uma tecnologia versátil e de fácil utilização (Arduino, 2018 apud Silva, 2025), responsável por controlar o dispositivo composto por sensores de gás MQ-135 - capazes de detectar amônia, óxidos de nitrogênio, álcool, benzeno, fumaça e dióxido de carbono (Silva, 2025) -, sensor de temperatura e umidade relativa do ar DHT11, módulo Real Time Clock (RTC) - encarregado de registrar os horários de coleta -,



Cuidar do planeta, cuidar das pessoas:

Cultura Oceânica e Educação Inclusiva para uma Sociedade Sustentável

módulo para leitura e gravação de dados em cartão microSD, módulo LED RGB e uma ventoinha. Além disso, todo o circuito foi acoplado a uma carcaça feita a partir de uma garrafa PET reutilizada (Silva, 2025). A escolha dos pontos em que seriam realizadas as coletas de dados mediante a queima de pequenas porções de resíduos foi feita conforme o mapa 1 a seguir.

Mapa 1 – Identificação dos pontos de queima no povoado Santana de Almas



Fonte: Silva, 2025.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante os testes iniciais, identificaram-se falhas que afetaram o funcionamento do sensor de data e hora. Após a substituição da placa do Arduino, o problema na coleta de dados persistiu, e a equipe atualizou hardware e software. A data foi exibida corretamente, mas a hora continuou inconsistente. Testes utilizando fumaça desconfiguraram o sistema, e a substituição da bateria por uma recarregável de 9V melhorou a ativação do cooler, embora a alimentação e estabilidade permanecessem problemáticas. Tentativas de uso de carregador portátil não foram eficazes devido à baixa tensão disponível.

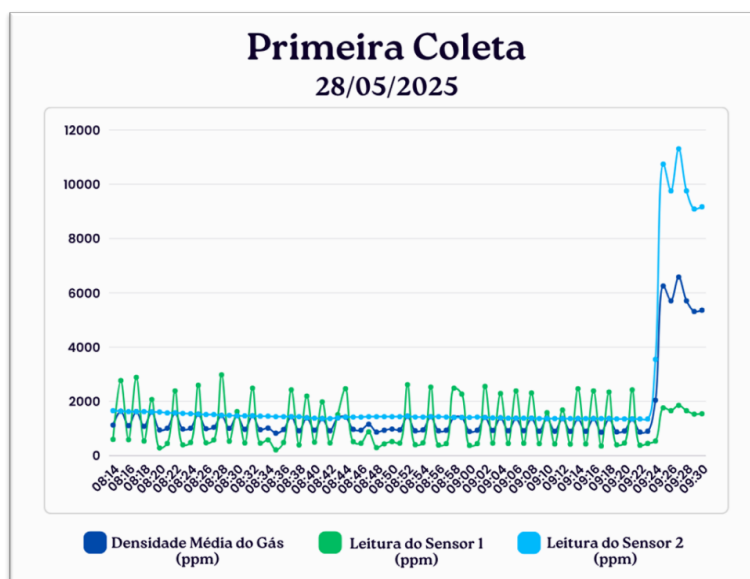
Esses desafios foram observados nas três coletas e nos testes anteriores, evidenciando a complexidade do protótipo.



4.1 Análise da Primeira Coleta

O Gráfico 1 mostra a variação da concentração de gases tóxicos na primeira coleta, realizada em 28 de maio de 2025.

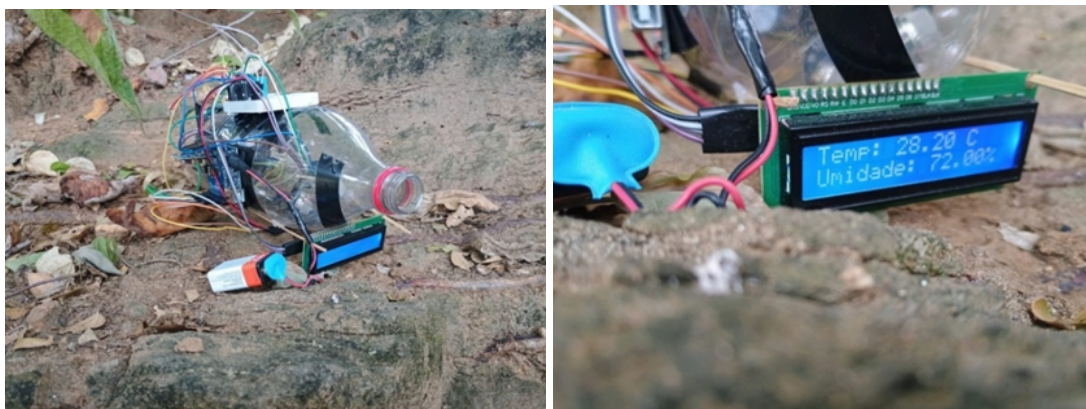
Gráfico 1 – Variação da concentração de gases tóxicos durante a primeira coleta.



Fonte: Elaboração própria, 2025.

Durante período ensolarado e seco, observou-se pico de 11.308,66 ppm pelo Sensor 2 entre 09:24 e 09:30, valor de risco grave para a saúde. No início da coleta, o protótipo foi posicionado conforme Figura 1.

Figura 1 – Início da coleta de gases prejudiciais através do posicionamento do protótipo em campo



Fonte: De autoria própria, 2025.



Cuidar do planeta, cuidar das pessoas:

Cultura Oceânica e Educação Inclusiva para uma Sociedade Sustentável

A análise também mostrou diferenças nas leituras dos sensores (ex.: Sensor 1 = 2.769,05 ppm; Sensor 2 = 1.640,19 ppm às 08:15), indicando possível variação do ambiente ou necessidade de recalibração.

A eliminação térmica dos resíduos no ponto 01 está documentada na Figura 2 e a queima nos pontos 02 e 03 na Figura 3.

Figura 2 – Documentação visual da eliminação térmica de resíduos no ponto de queima 01, em estágio ativo



Fonte: De autoria própria, 2025.

Figura 3 – Documentação visual da queima de resíduos nos pontos 02 e 03, fase ativa do processo térmico



Fonte: De autoria própria, 2025.

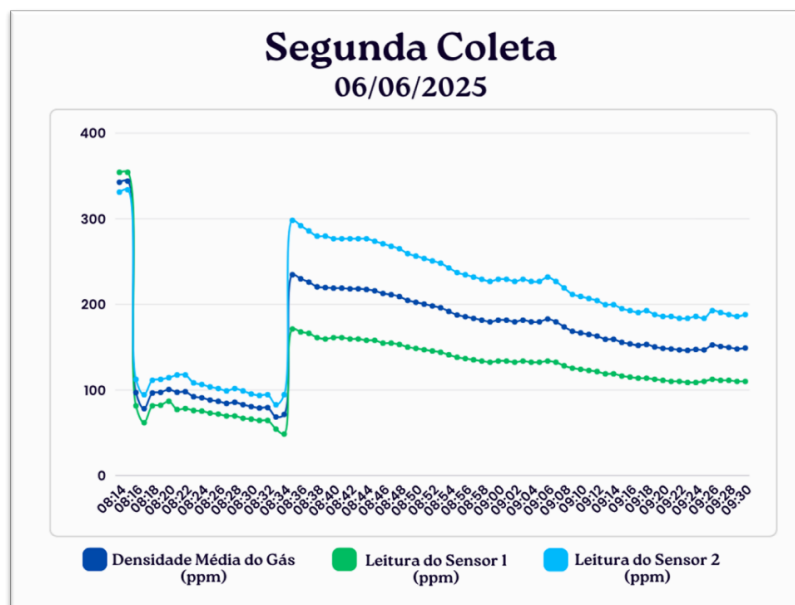
Durante a coleta, 73% das medições ultrapassaram o limite de 1.000 ppm estabelecido pela OSHA, indicando alto risco.



4.2 Análise da Segunda Coleta

O Gráfico 2 apresenta a concentração de poluentes na segunda coleta em 6 de junho de 2025.

Gráfico 2 – Monitoramento da concentração de poluentes atmosféricos na segunda coleta



Fonte: Elaboração própria, 2025.

Sob condições úmidas e ensolaradas, 85% das medições ficaram entre 50 e 300 ppm, indicando melhor qualidade do ar. Foi registrado um pico isolado de 298,15 ppm pelo Sensor 2 entre 08:35 e 08:36.

O protótipo em operação está mostrado na Figura 4, enquanto a queima secundária de resíduos nos pontos 01, 02 e 03 é ilustrada na Figura 5.

Figura 4 – Protótipo em operação durante a coleta de gases



Cuidar do planeta, cuidar das pessoas:

Cultura Oceânica e Educação Inclusiva para uma Sociedade Sustentável



Fonte: De autoria própria, 2025.

Figura 5 – Documentação visual da etapa secundária de queima de resíduos nos pontos 01, 02 e 03, operação térmica em andamento



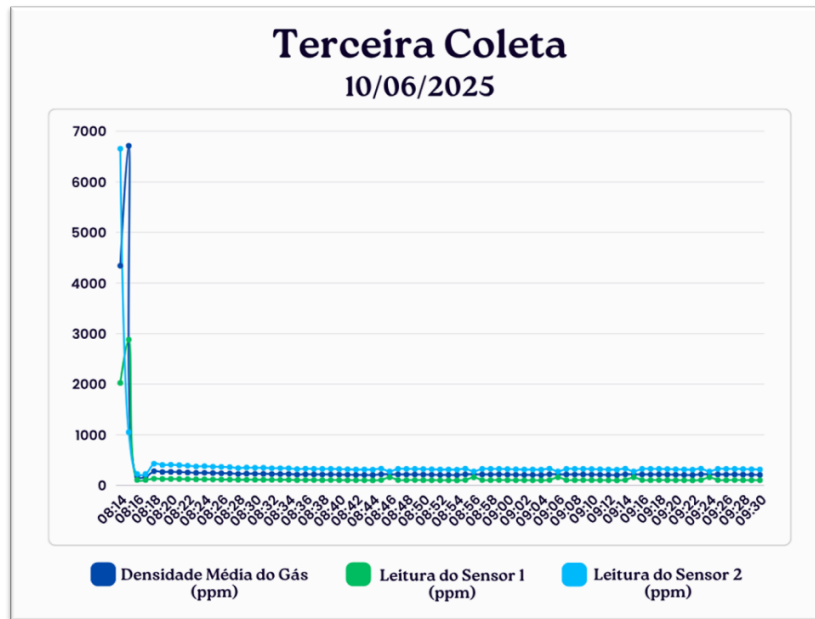
Fonte: De autoria própria, 2025.



4.3 Análise da Terceira Coleta

O Gráfico 3 mostra a concentração de gases na terceira coleta em 10 de junho de 2025.

Gráfico 3 – Análise da concentração de gases tóxicos na terceira coleta.



Fonte: Elaboração própria, 2025.

Sob condições nubladas e secas, logo no início da coleta, a média atingiu 6.713,56 ppm entre 08:14 e 08:15, indicando situação crítica. A queda brusca subsequente para 165,92 ppm sugere a possível cessação da fonte emissora ou erro de leitura.

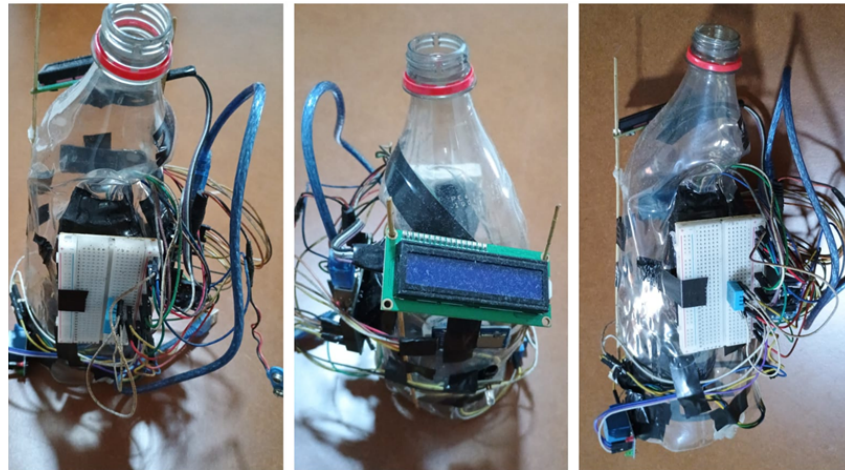
O protótipo após o incidente e a queima dos resíduos são mostrados nas Figuras 6 e 7.

Figura 6 – Protótipo registrado após a terceira coleta e imediatamente após o incidente



Cuidar do planeta, cuidar das pessoas:

Cultura Oceânica e Educação Inclusiva para uma Sociedade Sustentável



Fonte: De autoria própria, 2025.

Figura 7 – Imagem da queima de resíduos sólidos na terceira coleta, marcada pela ocorrência de evento adverso



Fonte: De autoria própria, 2025.

4.4 Discrepâncias nas Medições dos Sensores MQ-135

A discrepância absoluta foi usada para avaliar a precisão dos sensores em relação à densidade média do gás obtida, conforme a fórmula a seguir:

$$\text{Discrepância Absoluta} = (\text{Valor Medido} - \text{Valor Esperado}) \quad (1)$$

Na qual:

- Valor Medido corresponde à leitura registrada por cada sensor;
- Valor Esperado refere-se à densidade média do gás obtida na coleta;
- O símbolo $|$ representa o valor absoluto, ou seja, a diferença sem sinal negativo.



Cuidar do planeta, cuidar das pessoas:

Cultura Oceânica e Educação Inclusiva para uma Sociedade Sustentável

A Tabela 1 apresenta os valores das discrepâncias para cada coleta.

Tabela 1 – Discrepâncias entre as leituras dos sensores e a densidade média do gás em diferentes horários e coletas

Coletas	Hora	Densidade Média do Gás (ppm)	Leitura do Sensor 1 (ppm)	Discrepância Sensor 1 (ppm)	Leitura do Sensor 2 (ppm)	Discrepância Sensor 2 (ppm)
Primeira Coleta	09:24	2043.98	538.80	1505.18	3549.16	1505.18
	09:25	6250.40	1762.05	4488.35	10738.76	4488.36
	09:26	5707.27	1658.00	4049.27	9756.55	4049.28
	09:27	6582.11	1855.56	4726.55	11308.66	4726.55
Segunda Coleta	08:35	234.67	171.20	63.47	298.15	63.48
	08:36	229.86	167.81	62.05	291.90	62.04
	08:37	225.94	166.14	59.80	285.75	59.81
	08:38	220.44	161.19	59.25	279.69	59.25
Terceira Coleta	08:14	4340.92	2024.81	2316.11	6655.00	2314.08
	08:15	6713.56	2880.62	3832.94	1050.50	5663.06
	08:18	279.22	132.22	147.00	426.23	147.01
	08:19	263.07	124.68	138.39	401.45	138.38

Fonte: De autoria própria, 2025.



Cuidar do planeta, cuidar das pessoas:

Cultura Oceânica e Educação Inclusiva para uma Sociedade Sustentável

Os dados evidenciam discrepâncias significativas, principalmente na primeira e terceira coleta, indicando necessidade de recalibração e avaliação da sensibilidade dos sensores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho evidenciou riscos ecológicos causados por gases tóxicos em diferentes condições climáticas. As coletas mostraram variações significativas nas concentrações, com picos que ultrapassaram os limites seguros pela OSHA (2019). Apesar da possível imprecisão dos sensores, os resultados ressaltam a necessidade de monitoramento constante e ações para proteger a saúde da população. É essencial o engajamento das autoridades e da comunidade para promover educação ambiental e práticas sustentáveis, garantindo assim um ambiente mais seguro. Este estudo reforça a importância de políticas ambientais eficientes e monitoramento contínuo para preservar a qualidade do ar e o bem-estar público.

REFERÊNCIAS

ADMINISTRATION OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **Limites de exposição ocupacional**. Disponível em: <https://www.osha.gov/annotated-pels>. Acesso em: 28 out. 2025.

ADMINISTRATION OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **Publicações sobre segurança**. Disponível em: <https://www.osha.gov/publications/shib093013>. Acesso em: 28 out. 2025

DOMINSKI, F. H., et al. (2021). Impactos da poluição atmosférica na saúde pública. Cadernos de Saúde Pública. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/qMtkHSY7KDq33h7cQQDbFWv/>. Acesso em: 26 out. 2025.

SANTOS, Ubiratan de Paula; et al. **Poluição do ar ambiental: efeitos respiratórios**. Jornal Brasileiro de Pneumologia, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbpneu/a/Y8XSDqxncfs3jphjFV6FmLD/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 28 out. 2025.

SILVA, L. R.. **MONITORAMENTO E ANÁLISE DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA GERADA POR QUEIMADAS DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO ALTO SERTÃO PERNAMBUCANO UTILIZANDO TECNOLOGIAS DE BAIXO CUSTO**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico Integrado em Meio Ambiente) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Princesa Isabel, 2025.