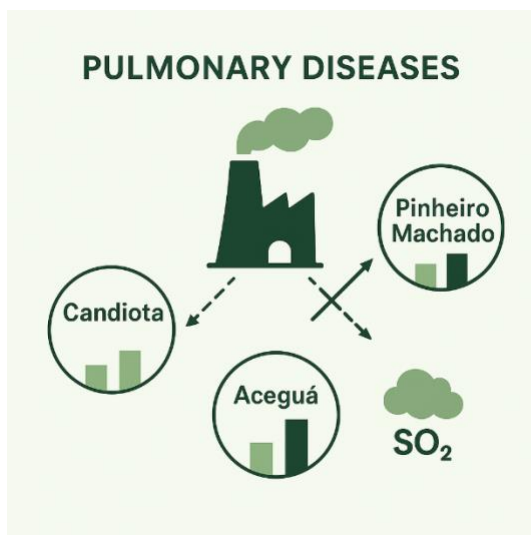




Investigation of the correlation between pulmonary diseases and emissions from a coal-fired power plant, revealing no direct relationship.

ESTUDO DE CASO DE DOENÇAS RESPIRATÓRIAS COM EMISSÃO DE POLUENTES PELA USINA TERMELÉTRICA DE CANDIOTA

Case Study on Respiratory Diseases and Pollutant Emissions from the Candiota Coal-Fired Power Plant

Rodrigo Carneiro Novaes ¹, Caroline Wagner ², Ana Carolina Dorneles Carvalho ³

¹ Coordenadoria de Engenharia de minas, Instituto Federal do Espírito Santo Campus Cachoeiro de Itapemirim, 29.322-000, Cachoeiro de Itapemirim – ES, Brasil

^{2,3} Universidade Federal do Pampa campus Caçapava do Sul, 96570-000, Caçapava do Sul – RS, Brasil

* rodrigo.carneironovaes@gmail.com

Artigo submetido em 08/05/2025, aceito em 24/06/2025 e publicado em 23/02/2026.

ORCID – Rodrigo Carneiro Novaes: <https://orcid.org/0009-0009-1092-1050>

ORCID – Caroline Wagner: <https://orcid.org/0000-0003-4320-3433>

Resumo: Este estudo analisou a associação entre doenças pulmonares (asma, bronquite, enfisema e pneumonia) e as emissões de dióxido de enxofre (SO₂) da Usina Termelétrica de Candiota (carvão) em três municípios vizinhos (Candiota, Pinheiro Machado e Aceguá). O objetivo foi verificar se a proximidade à usina se relaciona a maiores taxas de morbidade. Foi empregada análise estatística descritiva e comparativa de dados de internações referentes ao período de 2008 a 2022, obtidos no DATASUS/TABNET, correlacionados com concentrações de SO₂ registradas por estações automáticas de qualidade do ar, obtidas de relatórios de monitoramento obtidos no site do IBAMA. Os resultados mostraram que Candiota apresentou as menores taxas de internação para todas as doenças estudadas, com índices até nove vezes inferiores aos observados em Aceguá. As ocorrências de SO₂ acima dos limites normativos na termelétrica não se associaram ao aumento de hospitalizações em Candiota. Em contraste, Aceguá registrou taxas persistentemente elevadas de asma e enfisema, sugerindo influência de fatores locais, possivelmente ligados à atividade agropecuária. Conclui-se que as emissões da usina não impactaram significativamente a saúde respiratória de Candiota. Recomenda-se ampliar o monitoramento de fontes rurais e ajustar políticas públicas para melhor compreender e mitigar os padrões epidemiológicos distintos observados.

Palavras-chave: dióxido de enxofre; doenças pulmonares; termelétrica.

Abstract:

This study analyzed the association between pulmonary diseases (asthma, bronchitis, emphysema, and pneumonia) and sulfur dioxide (SO₂) emissions from the Candiota coal-fired thermoelectric power plant in three neighboring municipalities (Candiota, Pinheiro Machado, and Aceguá). The objective was to determine whether proximity to the plant is related to higher morbidity rates. A descriptive and comparative statistical analysis of hospitalization data (2008–2022), obtained from DATASUS/TABNET, was performed and correlated with SO₂ concentrations recorded by automated air quality stations, as reported on the IBAMA website. Results showed that Candiota exhibited the lowest hospitalization rates for all diseases studied, up to nine times lower than those observed in Aceguá. Instances of SO₂ exceedances above regulatory limits at the power plant were not associated with increased hospitalizations in Candiota. In contrast, Aceguá recorded persistently high rates of asthma and emphysema, suggesting the influence of local factors, possibly linked to agricultural activities. Finally, the plant's emissions did not significantly impact respiratory health in Candiota. The study recommends expanding the monitoring of rural emission sources and adjusting public policies to better understand and mitigate the distinct epidemiological patterns observed.

Keywords: sulfur dioxide; pulmonary diseases; coal-fired power plant.

1 INTRODUÇÃO

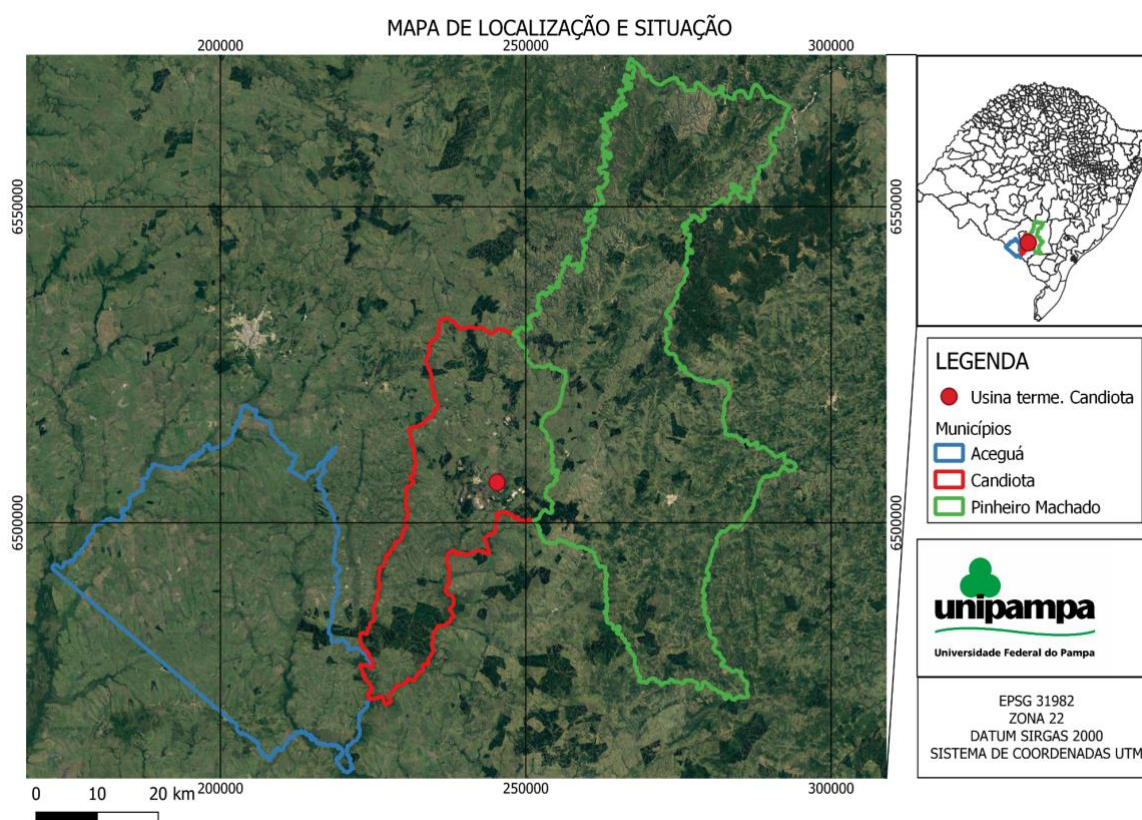
O carvão mineral é conhecido por sua coloração preta, podendo variar de acordo com sua classificação. É um minério extraído por métodos de lavra a céu aberto ou subterrânea, a depender das características do corpo de minério e de sua geometria. Segundo Pohl (2011), é considerado um combustível fóssil sólido formado a partir de matéria orgânica, depositado em bacias sedimentares.

A primeira jazida de carvão mineral instituída no Brasil foi no ano de 1855, em Arroio dos Ratos. O estado do Rio Grande do Sul é uma das regiões mais importantes do Brasil em termos de produção de carvão mineral, pois a cidade abriga a maior jazida

do país. A mina é operada pela Companhia Riograndense de Mineração (CRM) (Köenig et al., 2012; Borba, 2001).

Candiota, localizada no estado do Rio Grande do Sul, com uma população média de 10.710 habitantes, situada a 400 km ao sul de Porto Alegre, é uma das regiões mais importantes do Brasil em termos de produção de carvão mineral. A cidade abriga a maior jazida de carvão do país, onde também está localizada a Usina Termelétrica Presidente Médici (Usina Candiota). A localização pode ser observada na Figura 1, onde o carvão é utilizado na geração de energia elétrica (Lopes, 2017; Fernandez, 2025).

Figura 1 - Mapa de localização e situação da área.



Fonte: autores (2025)

A geração de energia por termelétricas a carvão representa uma importante fonte de emissões atmosféricas, com impactos significativos na saúde

humana (Gasparotto; Martinello, 2021).

Diversos estudos epidemiológicos têm demonstrado a associação entre poluentes como material particulado (MP) e

dióxido de enxofre (SO_2) - subprodutos da combustão do carvão - e o aumento da morbidade por doenças respiratórias. Pesquisas como as de Freitas et al. (2004) e Gouveia et al. (2006) evidenciam esses efeitos, enquanto Martins et al. (2001) demonstraram que mesmo concentrações abaixo dos limites legais podem aumentar os riscos à saúde, particularmente em grupos vulneráveis.

Amâncio e Nascimento (2012) e Tomić-spirić (2021) estudaram a relação de material particulado, ozônio e dióxido de enxofre com a asma. Exposições diárias ao SO_2 estão associadas a aumento de atendimentos de emergência por doenças respiratórias. Segundo os autores o dióxido de enxofre (SO_2) age como um irritante respiratório, com a capacidade de se depositar nas regiões mais distantes das vias aéreas superiores e no tecido pulmonar. Os efeitos adversos resultantes da exposição a esses poluentes ambientais apresentam um padrão de defasagem, indicando que um indivíduo exposto a um poluente em um determinado dia pode manifestar uma crise aguda de asma alguns dias depois.

Nunes (2021), após revisão sistemática bibliográfica, cita que estudos indicam que a exposição ocupacional ao dióxido de enxofre (SO_2) pode prejudicar a saúde dos trabalhadores, provocando doenças respiratórias, como asma, agravando problemas pulmonares e cardiovasculares e aumentando sintomas respiratórios e casos de bronquite crônica. Pessoas com asma são especialmente sensíveis aos efeitos do SO_2 .

De acordo com Castro et al. (2013), evidências epidemiológicas indicam uma relação entre a poluição atmosférica e o aumento da morbimortalidade por doenças respiratórias e câncer de pulmão. Estudos controlados apontam ainda que breves períodos de exposição ao dióxido de enxofre (SO_2) podem causar alterações na função pulmonar e o surgimento de sintomas respiratórios.

Corroborando essas conclusões, Orellano et al. (2021) realizaram uma

análise estatística que demonstrou que um aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de SO_2 no ar ambiente está associado a um incremento significativo na mortalidade e, de forma ainda mais evidente, nas mortes por causas respiratórias, com grau de certeza moderado a alto.

Segundo Negrisoli e Nascimento (2013), a pneumonia infantil é uma enfermidade influenciada por múltiplos fatores, entre eles a exposição a poluentes atmosféricos que atingem diretamente o sistema respiratório. Entre os principais agentes associados estão o material particulado com diâmetro aerodinâmico igual ou inferior a $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}), o dióxido de enxofre (SO_2), o ozônio (O_3), o dióxido de nitrogênio (NO_2) e o monóxido de carbono (CO).

Estudos mais recentes reforçam essa associação: uma meta-análise conduzida por Yee et al. (2021) identificou que aumentos de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nas concentrações de PM_{10} e $\text{PM}_{2.5}$ estão relacionados a um acréscimo de 1,5 % e 1,8 %, respectivamente, no risco de internações por pneumonia em crianças. O estudo também apontou associações significativas com NO_2 e CO , embora não tenha encontrado evidência conclusiva para SO_2 e O_3 .

A Usina Termelétrica de Candiota, como relevante complexo termelétrico a carvão do país, merece especial atenção, especialmente pela escassa literatura que integra dados ambientais e epidemiológicos em suas áreas de influência.

Este estudo busca investigar a possível relação entre as emissões da termelétrica e a incidência de quatro doenças respiratórias específicas (asma, bronquite, enfisema e pneumonia) nos municípios de Candiota, Pinheiro Machado e Aceguá, utilizando dados epidemiológicos do Departamento de Informação e Informática do SUS (DATASUS), de 2008 a 2022, e confrontando-os com os parâmetros de qualidade do ar estabelecidos pelo Programa Nacional de Controle da

Qualidade do Ar (PRONAR), pela resolução CONAMA nº 03/1990 e sua atualização pela resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 491/2018.

A análise considera tanto os padrões legais históricos (resolução CONAMA nº 03/1990), vigentes à época dos relatórios coletados, quanto os contemporâneos (resolução CONAMA nº 491/2018), visando não apenas identificar possíveis associações causais, mas também avaliar a adequação dos parâmetros regulatórios à realidade local.

A pesquisa justifica-se pela necessidade de produzir evidências científicas que possam subsidiar políticas públicas capazes de conciliar a segurança energética com a proteção à saúde, além de contribuir para o debate sobre justiça ambiental em regiões economicamente dependentes de matrizes energéticas potencialmente poluidoras.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para este trabalho, foram levantados dados do programa de acesso à informação do governo brasileiro, o DATASUS, por meio das informações fornecidas pelo sistema TABNET, disponíveis publicamente no site do Datasus, pesquisando-se internações hospitalares do SUS por local de internação.

Foram selecionados dados de internação (para cada uma das doenças: asma, bronquite, enfisema e pneumonia) para cada município estudado (Candiota, Pinheiro Machado e Aceguá), sendo considerados como indicadores de morbidade. O período histórico de dados selecionado foi de 2008 a 2022 (Brasil, 2024a).

Ressalta-se que, na análise exploratória dos dados do DATASUS para o Brasil no ano de 2021, observou-se um expressivo número de internações para as morbidades listadas como “Outras doenças virais” e “Restantes de outras doenças virais”. Portanto, estas foram consideradas

como indicadores de internações por Covid-19 e não foram levadas em consideração neste estudo.

Para avaliação da população, foram levantados os dados dos últimos censos disponíveis, sendo estes os de 2010 e 2022 (Brasil, 2024b).

Como os dados de internação são disponibilizados ano a ano, foram selecionados dados de 2008 a 2022 para análise. O indicador de morbidade utilizado neste estudo foi de internações por 1.000 habitantes; portanto, para obter dados populacionais ano a ano compatíveis com os dados de internações, foi estimado, entre 2008 e 2022, um crescimento populacional linear constante, utilizando-se os dados do censo coletados previamente.

Foram também levantados dados públicos de monitoramento da qualidade do ar no site do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), a partir de relatórios referentes ao processo de licenciamento ambiental da usina termelétrica avaliada, em especial quanto à emissão de dióxido de enxofre, para discutir a possibilidade de esta ser fonte de emissões prejudiciais à saúde humana.

Os parâmetros analisados foram coletados para o período de janeiro de 2015 a julho de 2016, por meio de estações automatizadas de qualidade do ar, que são sistemas que monitoram continuamente a poluição atmosférica, fornecendo dados em tempo real sobre a concentração de poluentes, geridas pela própria usina e supervisionadas por agente externo (Brasil, 2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise comparativa das taxas de morbidade hospitalar por doenças respiratórias nos municípios de Candiota, Aceguá e Pinheiro Machado (2008–2022) revela padrões heterogêneos, com destaque para disparidades significativas entre a sede da usina termelétrica (Candiota) e os demais municípios.

Os dados, estratificados por patologia (asma, bronquite, enfisema e pneumonia), são confrontados com parâmetros de emissões atmosféricas da Usina de Candiota, considerando as Resoluções CONAMA nº 03/1990 e nº 491/2018. A discussão integra variações geográficas e a conformidade com os padrões regulatórios vigentes, visando identificar parâmetros que destoem dos demais ou ultrapassem os limites normativos analisados.

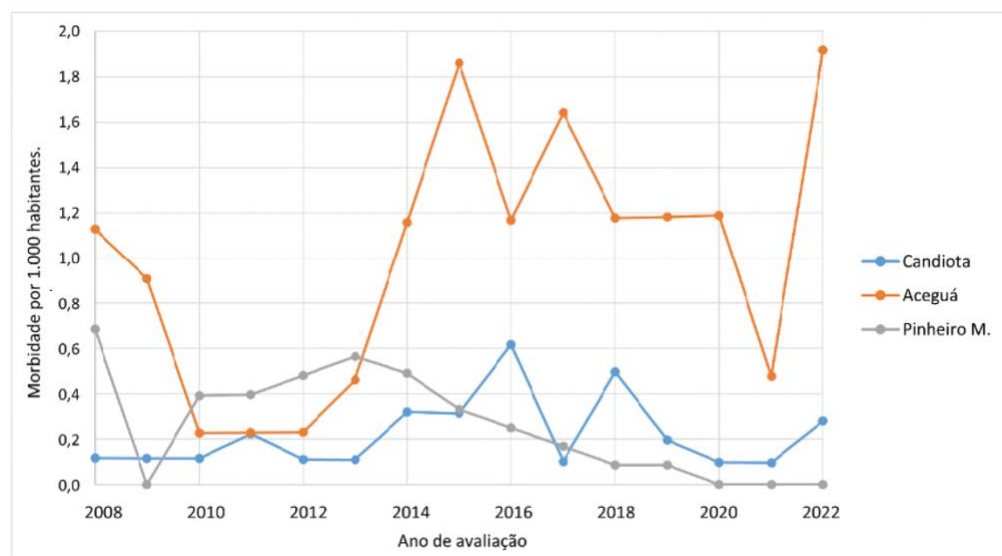
3.1 ASMA

A Figura 2 mostra os dados de internações por asma durante os anos de 2008 a 2022 para os três municípios avaliados. É possível observar que os

municípios de Candiota e Pinheiro Machado apresentaram comportamento similar, com algumas oscilações nos anos de 2016 e 2018 no município de Candiota e de 2010 a 2014 em Pinheiro Machado.

O município de Aceguá destaca-se a partir de 2011, com um crescimento nos casos, conforme evidenciado pelo pico no gráfico, que se manteve nos anos subsequentes. A partir de 2013, o município apresentou as maiores taxas de internações por asma, atingindo picos de aproximadamente 1,86 internações a cada mil habitantes em 2015, quase seis vezes mais que os municípios de Candiota e Pinheiro Machado no mesmo período (aprox. 0,33/1.000 hab.). Esses dados evidenciam um aumento substancial de internações por essa morbidade no município de Aceguá.

Figura 2: Internações por Asma de 2008 a 2022 nos municípios de Candiota, Aceguá e Pinheiro Machado.



Fonte: Autores.

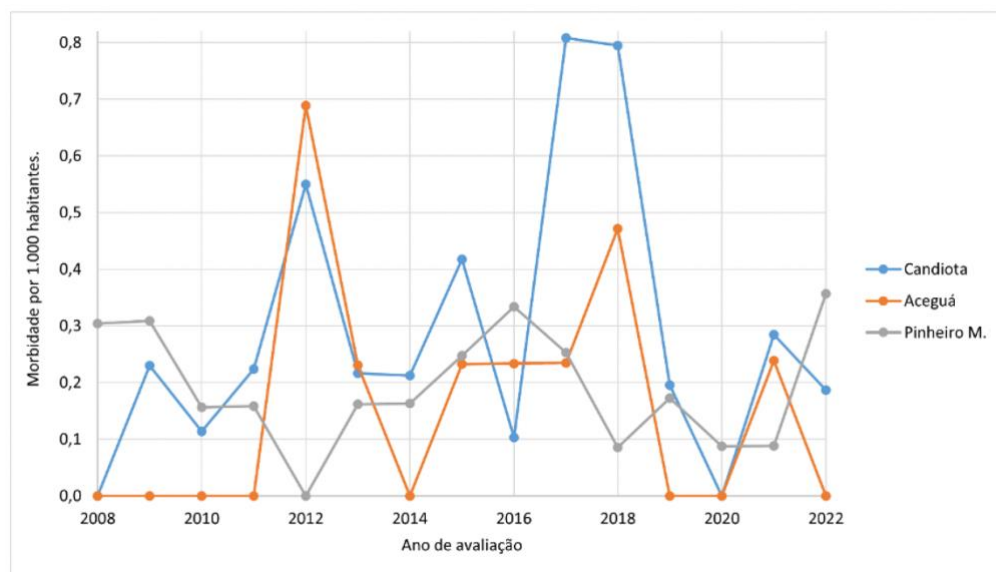
3.2 BRONQUITE

A Figura 3 apresenta o índice de internações por bronquite a cada 1.000 habitantes nos três municípios analisados.

Frente aos dados apresentados, observa-se que, no monitoramento dos

casos de bronquite, os comportamentos das cidades analisadas foram análogos. Contudo, Candiota apresentou um aumento relevante nos casos entre 2016 e 2018 (de 0,1 para 0,8 casos a cada 1.000 habitantes), normalizando-se em 2019, quando comparada às demais cidades.

Figura 3: Índice de internações por Bronquite para cada mil habitantes nos municípios de Candiota, Aceguá e Pinheiro Machado.



Fonte: Autores.

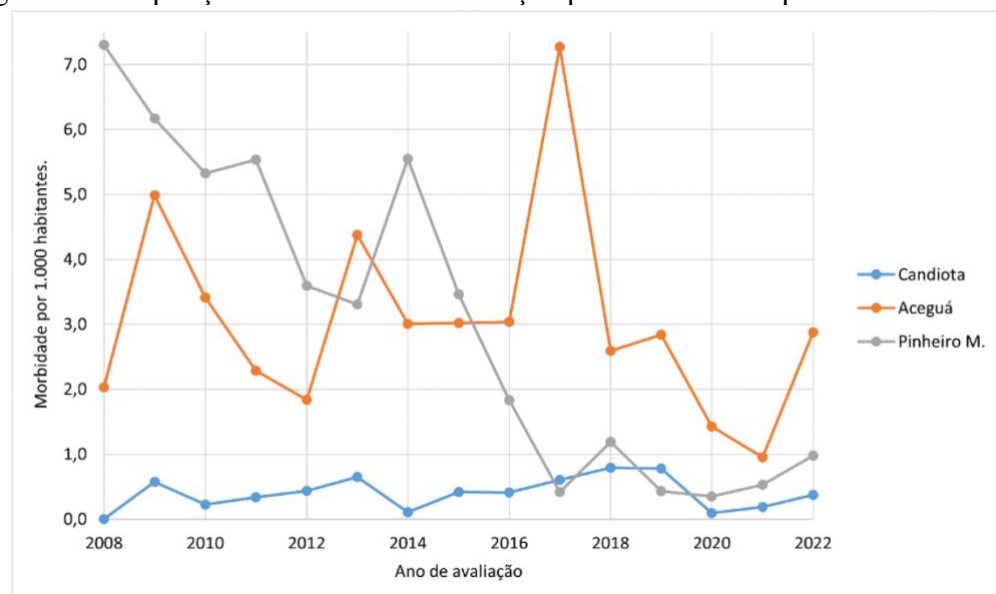
3.3 ENFISEMA

A Figura 4 mostra o índice de internações por enfisema a cada 1.000 habitantes nos municípios analisados, no período de 2008 a 2022. Os dados da cidade de Candiota para a patologia de enfisema pulmonar foram os menores entre as três cidades.

É possível notar um comportamento decrescente no número de casos em

Pinheiro Machado ao longo do tempo e um comportamento periódico dos casos em Aceguá durante o período analisado. A partir de 2016, Aceguá manteve o maior número de casos, além de apresentar o maior pico, sendo que, em 2022, as taxas de internação foram quase o triplo das observadas nas outras cidades, com cerca de 2,88 a cada mil habitantes, frente a 0,98 em Pinheiro Machado e 0,37 em Candiota.

Figura 4: Compilação dos dados de internação por enfisema do período 2008 a 2022.



Fonte: Autores.

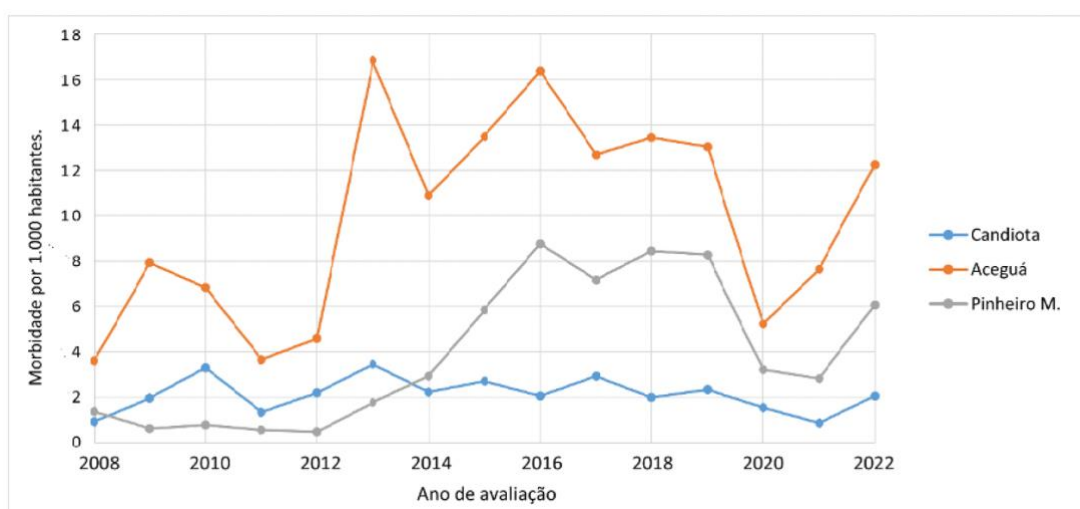
3.4 PNEUMONIA

Pode-se observar, na Figura 5, um maior número de casos de pneumonia nos municípios de Aceguá e Pinheiro Machado a partir de 2014. Já no município de Candiota, constata-se que o comportamento foi quase constante, com valores máximos e mínimos situando-se entre 0,85 e 3,46, respectivamente, e, a partir de 2014, mantendo-se com número de casos inferior

ao dos demais municípios.

O município de Pinheiro Machado, a partir de 2014, apresenta comportamento similar ao de Aceguá; contudo, novamente, o município de Aceguá lidera o número de casos, mantendo-se historicamente acima dos demais municípios, chegando a atingir o nível de 16,82 casos a cada mil habitantes, frente a 1,77 em Pinheiro Machado e 3,45 em Candiota.

Figura 5: Distribuição do número de casos de pneumonia a cada mil habitantes nos municípios de Candiota, Pinheiro Machado e Aceguá no período de 2008 a 2022.



Fonte: Autores.

3.5 DADOS DE EMISSÃO

Os dados apresentados e coletados no relatório proposto por Brasil (2016) referem-se às estações de monitoramento da Usina Termelétrica de Candiota, considerando o limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 003, de 28 de junho de 1990, vigente à época da elaboração do relatório de análise dos dados de monitoramento, que determina os limites máximos de concentração de poluentes atmosféricos permitidos para atividades potencialmente poluidoras.

Atualmente, está vigente a Resolução CONAMA nº 491, de 19 de novembro de 2018, que atualiza os valores limites por parâmetro poluidor. Ressalta-se, ainda, que o referido relatório apresenta os

gráficos de medição de dióxido de enxofre em ppm, embora os limites oficiais de detecção para dióxido de enxofre sejam expressos em $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Contudo, o mesmo apresenta a aproximação do limite máximo (padrão secundário da CONAMA nº 28/1990) de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 0,035 \text{ ppm}$ para dióxido de enxofre. Utilizando o mesmo parâmetro, observa-se que, proporcionalmente, o limite máximo para a CONAMA nº 491/2018 seria de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 0,042 \text{ ppm}$ (padrão intermediário 1), como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1: Comparação dos limites de detecção das Resoluções CONAMA nº 3/1990 e nº 491/2018 (vigente). Especificações para a coluna “Período de referência”: ¹ média aritmética anual; ² média horária; ³ máxima média móvel obtida no dia; ⁴ média geométrica anual; ⁵ medido nas partículas totais em suspensão. Partes por milhão (ppm). PI = padrões intermediários e PF = padrão final. * Conversão proporcional utilizada pelo IBAMA (2016) para avaliação dos parâmetros em ppm.

Parâmetros	Resolução CONAMA Nº 491 de 19/11/2018		Resolução CONAMA nº 003 de 28 de junho de 1990				Parâmetros		
	Período de Referência	PI-1 µg/m³	PI-2 µg/m³	PI-3 µg/m³	PF µg/m³	ppm	Padrão primário µ/m³	Padrão secundário µg/m³	OBS
Material Particulado - MP10	24 horas	120	100	75	50	-	150		24 horas não exceder uma vez por ano
	Anual ¹	40	35	30	20	-			Partículas inaláveis (PTS)
Material Particulado - MP2,5	24 horas	60	50	37	25	-	50		anual
	Anual ¹	20	17	15	10	-			
Dióxido de Enxofre - SO ₂	24 horas	125	50	30	20	-	365	100	
	Anual ¹	40	30	20	-	-	80	40	
Dióxido de Nitrogênio - NO ₂	1 hora ²	260	240	220	200	-	320	190	
	Anual ¹	60	50	45	40	-	100	100	
Ozônio - O ₃	8 horas ³	140	130	120	100	-	160		Média 1 hora
Fumaça	24 horas	120 ou 0,045 ppm*	100	75	50	-	150	100 ou 0,035ppm*	
	Anual ¹	40	35	30	20	-	60	40	
Monóxido de Carbono - CO	8 horas ³	-	-	-	-	9	10.000 ou 9ppm		Média 8 horas
						9	40.000 ou 35ppm		Média 1 hora
Partículas Totais em Suspensão - PTS	24 horas	-	-	-	240	-	240	150	
	Anual ⁴	-	-	-	80	-	80	60	
Chumbo - Pb ⁵	Anual ¹	-	-	-	0,5	-	NSA		

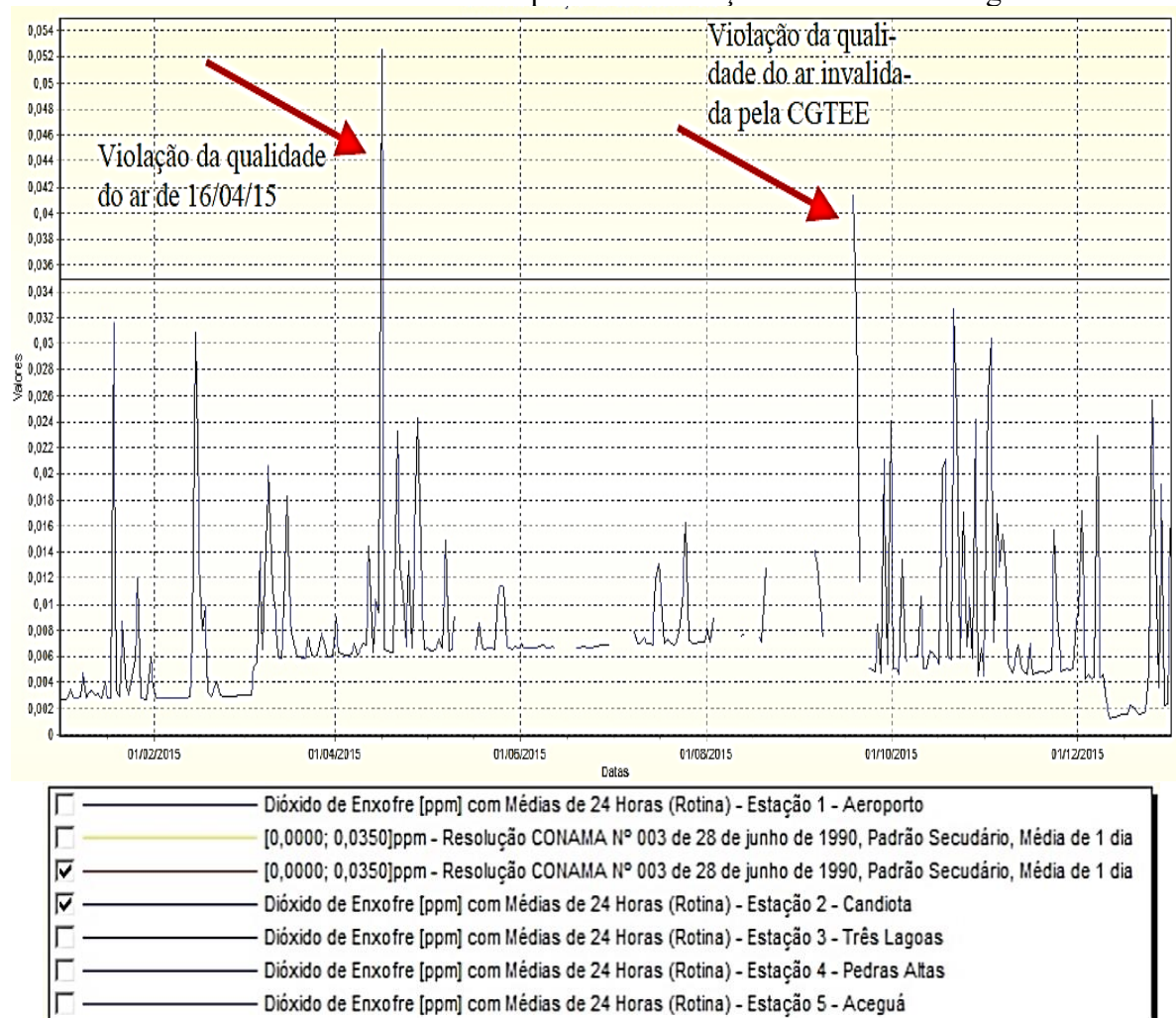
Fonte: Autores.

Segundo o relatório de Brasil (2016), consultado no site do IBAMA, foi constatado que, nos dias 16/04/2015 e 18/09/2015 de monitoramento, houve violação do padrão secundário de SO₂ para a média diária. A medida de 18/09/2015 foi considerada inválida pelo referido relatório, pois, segundo o mesmo, houve um deslocamento superior dos valores na linha de base do analisador.

A extrapolação dos limites, segundo a norma, datada de 16/04/2015, foi considerada uma leitura válida e excede os padrões tanto da CONAMA nº 3/1990 (conforme demonstrado na Figura 6), vigente à época, quanto da CONAMA nº 491/2018 (165,71 µg/m³ - 0,058 ppm).

Essa análise foi efetuada na estação automatizada denominada Candiota, localizada na Vila Dario Lassance (vizinha à usina).

Figura 6: Monitoramento da qualidade do ar entre 01/01/2015 e 31/12/2015. Parâmetro: Dióxido de enxofre. CGTEE = Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica



Fonte: (BRASIL, 2016).

Os dados de monitoramento ambiental revelam descumprimento dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 03/1990, que limitava a concentração média de 24 horas de dióxido de enxofre (SO_2) a $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($\approx 0,035 \text{ ppm}$), permitindo sua excedência apenas uma vez ao ano (Brasil, 1990). Contudo, registros apontam três ocorrências acima desse limite, configurando violação dos critérios de proteção ambiental e sanitária.

Sob a atual Resolução CONAMA nº 491/2018, que estabelece o Padrão Intermediário I (PI-I) de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0,045 \text{ ppm}$), apenas duas medições ultrapassaram o limite, indicando melhoria parcial na conformidade. Destaca-se que o artigo 10 da Resolução nº 491/2018 define níveis de

atenção ($800 \mu\text{g}/\text{m}^3$), alerta ($1.600 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e emergência ($2.100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) para SO_2 , acionando medidas de restrição de emissões e mitigação em casos de excedência, o que não foi observado no período analisado (Brasil, 2018).

A análise temporal dos dados de emissões, coletados ao longo de 16 meses, demonstra que os picos pontuais de poluentes não se correlacionaram com aumentos nas taxas de hospitalização por doenças respiratórias em Candiota. Esse achado sugere que os mecanismos de controle de emissões da usina, aliados a políticas de fiscalização contínua, podem estar mitigando impactos agudos na saúde local. Em contrapartida, o município de Aceguá apresentou taxas de morbidade

significativamente superiores para pneumonia, enfisema e asma, apesar de compartilhar características geográficas, climáticas e socioeconômicas com Candiota e Pinheiro Machado.

A hipótese de exposição a agentes agropecuários emerge como fator alternativo para a disparidade observada em Aceguá. Atividades agrícolas intensivas na região - como o cultivo de soja, arroz e milho - expõem a população, principalmente os trabalhadores, a poeiras orgânicas, pesticidas e gases tóxicos. Estudos comprovam que a inalação crônica desses agentes está associada a síndromes como rinite ocupacional, pneumonite por hipersensibilidade e exacerbação de asma, conhecidas coletivamente como síndromes respiratórias agrícolas (Viegas, 2000).

Diante do exposto, é notável que a ausência de correlação direta entre as emissões da termelétrica e a morbidade em Candiota reforça a eficácia das medidas de controle implementadas, enquanto a situação em Aceguá demanda investigações específicas sobre fontes alternativas de poluição.

A complexidade dos fatores envolvidos, tais como a caracterização dos agentes nocivos presentes na prática agrícola, sejam eles poeiras inerentes ao trabalho ou vapores de agrotóxicos e demais produtos químicos utilizados na atividade, ressalta a necessidade de abordagens intersetoriais, integrando saúde pública, gestão ambiental e políticas agrícolas, para mitigar riscos respiratórios em contextos regionais heterogêneos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo permitem concluir que o município de Candiota, onde está instalada a Usina Termelétrica, não apresentou índices elevados de morbidade para as doenças respiratórias investigadas (asma, bronquite, enfisema e pneumonia), sendo frequentemente a localidade com os menores registros históricos entre os municípios analisados. Esses achados

indicam que as medidas de controle de emissões e o rigoroso monitoramento ambiental implementados pela usina parecem estar efetivamente mitigando os potenciais impactos na saúde da população local, mesmo diante de eventuais excedências pontuais nos padrões de qualidade do ar. Em contraste, o município de Aceguá apresentou taxas significativamente mais elevadas para as mesmas patologias, especialmente nos casos de pneumonia e asma, sugerindo a influência de outros fatores além das emissões industriais.

Para pesquisas futuras, sugere-se investigar mais profundamente as fontes alternativas de poluição em Aceguá, com foco nos agentes agrícolas; avaliar os efeitos de longo prazo da exposição a poluentes industriais e agrícolas; analisar as vulnerabilidades socioeconômicas que podem influenciar os padrões de saúde respiratória; e desenvolver métodos aprimorados de monitoramento ambiental que contemplem todas as fontes relevantes de poluição.

Os resultados destacam a importância de políticas públicas integradas que conciliem desenvolvimento energético, atividades agrícolas e proteção à saúde, garantindo um equilíbrio entre progresso econômico e bem-estar populacional. Estudos futuros deverão adotar abordagens mais abrangentes para elucidar completamente os mecanismos por trás dos diferentes perfis de saúde respiratória observados na região.

REFERÊNCIAS

- AMÂNCIO, C. T.; NASCIMENTO, L. F. C. Asma e poluentes ambientais: um estudo de séries temporais. **Revista da Associação Médica Brasileira**, v. 58, n. 3, p. 302-307, 2012.
- BORBA, R. F. **Balanço mineral brasileiro: carvão mineral**. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), 2001. 19 p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 3, de 28 de junho de 1990**. Estabelece os padrões de qualidade do ar. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 15937-15939, 22 ago. 1990.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018**. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 nov. 2018.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo Demográfico 2010–2022: características da população por município**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024b. Disponível em: <https://censo.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 mar. 2024.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Licenciamento Ambiental Federal: Usina Termelétrica de Candiota**. Brasília: IBAMA, 2016. Disponível em: https://servicos.ibama.gov.br/licenciamento/consulta_empresendimentos.php. Acesso em: 15 mar. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. DATASUS. Tabnet. **Doenças respiratórias: morbidade hospitalar por município - RS, 2015-2022**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2024a. Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude-tabnet/>. Acesso em: 7 mar. 2024.

CASTRO, A. H.; SARAULO, R. S.; SILVA, G. M. M. **Qualidade do ar - parâmetros de controle e efeitos na saúde humana: uma breve revisão**. Holos, v. 5, p. 107-121, 2013. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=481548607010>. Acesso em: 7 mar. 2024.

FERNANDEZ, M. B. de G.; LEAL, O. dos A.; ISLABÃO, G. O.; PAGANI JUNIOR, A.; MELO, T. V. de; KNAPP, A. P.;

HAUDT, I. W.; FARIAS, E. M. de; PINTO, L. F. S.; MIGUEL, P.; OLIVEIRA, J. R. de; BRÜGGEMANN, N.; PINTO, M. A. B.; STUMPF, L. **Temporal dynamics of minesoil restoration in Southern Brazil: A two-decade monitoring of soil physical attributes and organic carbon content**. *Soil and Tillage Research*, v. 253, p. 106647, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2025.106647>.

FREITAS, C.; BREMNER, S. A.; GOUVEIA, N.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. H. N. **Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997**. *Revista de Saúde Pública*, v. 38, n. 6, p. 751–757, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-89102004000600001>

GASPAROTTO, J.; MARTINELLO, K. da B. **Coal as an energy source and its impacts on human health**. *Energy Geoscience*, v. 2, n. 2, p. 113-120, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.engeos.2020.07.003>. Acesso em: 18 jun. 2024.

GOUVEIA, N.; FREITAS, C. U.; MARTINS, L. U.; MARCILIO, I. O. **Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil**. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 22, n. 12, p. 2669–2677, 2006.

KÖENIG, M.; FORMENTIN, C. N.; MIZEESKI, R. **Diálogo entre as indústrias carboníferas e comunidade: pesquisa de percepção comunitária com base em indicadores socioambientais**. *Revista E-TECH: Tecnologias para Competitividade Industrial*, Florianópolis, v. 5, n. 1, p. 89-101, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.18624/e-tech.v5i1.180>.

LOPES, M. **Carvão mineral no Brasil e**

no mundo. 2017. Disponível em: <https://tecnicoemineracao.com.br/carvao-mineral-no-brasil-e-no-mundo/>. Acesso em: 10 mar. 2024.

MARTINS, L. C.; LATORRE, M. do R. D. de O.; SALDIVA, P. H. N.; BRAGA, A. L. F. **Relação entre poluição atmosférica e atendimentos por infecção de vias aéreas superiores no município de São Paulo: avaliação do rodízio de veículos.** *Revista Brasileira de Epidemiologia*, São Paulo, v. 4, n. 3, p. 220-229, 2001.

NEGRISOLI, J.; NASCIMENTO, L. F. C. **Poluentes atmosféricos e internações por pneumonia em crianças.** *Revista Paulista de Pediatria*, v. 31, n. 4, p. 501-506, 2013. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=406038970013>. Acesso em: 7 mar. 2024.

NUNES, P. R. **Exposição ao dióxido de enxofre (SO₂) em trabalhadores vinícolas: revisão sistemática.** 2021. 120 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Ambiental) - Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, Lisboa, 2021.

ORELLANO, P.; REYNOSO, J.; QUARANTA, N. **Short-term exposure to sulphur dioxide (SO₂) and all-cause and respiratory mortality: a systematic review and meta-analysis.** *Environment International*, v. 150, p. 106434, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106434>. Acesso em: 18 jun. 2024.

POHL, W. L. **Economic geology: principles and practice.** [s.l.]: John Wiley & Sons, 2011.

TOMIĆ-SPIRIĆ, V.; KOVAČEVIĆ, G.; MARINKOVIĆ, J.; JANKOVIĆ, J.; ČIRKOVIĆ, A.; ĐERIĆ, A. M.; RELIĆ, N.; JANKOVIĆ, S. **Sulfur dioxide and exacerbation of allergic respiratory diseases: A time-stratified case-crossover**

study. *Journal of Research in Medical Sciences*, v. 26, p. 109, 2021. Disponível em:

https://doi.org/10.4103/jrms.JRMS_6_20. Acesso em: 18 jun. 2024.

VIEGAS, C. A. A. **Agravos respiratórios decorrentes da atividade agrícola.** *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v. 26, n. 2, p. 83-90, 2000.

YEE, J.; CHO, Y. A.; YOO, H. J. et al. **Short-term exposure to air pollution and hospital admission for pneumonia: a systematic review and meta-analysis.** *Environmental Health*, v. 20, n. 6, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12940-020-00687-7>. Acesso em: 18 jun. 2024.