

A emissão de NO_x gerada pelos navios no Porto de Santos e a ocorrência de eventos de saúde relacionados a doenças respiratórias no Município de Santos

The emission of NO_x generated by ships in the Port of Santos and the occurrence of health events related to respiratory diseases in Santos's Municipality

La emisión de NO_x generada por los buques en el Puerto de Santos y la ocurrencia de eventos de salud relacionados con enfermedades respiratorias en el Municipio de Santos

Recebido: 26/06/2024 | Revisado: 06/07/2024 | Aceitado: 07/07/2024 | Publicado: 31/07/2024

Gerson Bauer

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2690-9269>
Universidade Metropolitana de Santos, Brasil
E-mail: gersonbauer1@gmail.com

Elizabeth Barbosa de Oliveira-Sales

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4129-8643>
Universidade Metropolitana de Santos, Brasil
E-mail: betholiveira@gmail.com

Ricardo Henrique de Ponte Ramires

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2594-7420>
Universidade Metropolitana de Santos, Brasil
E-mail: md.ricardoponte@outlook.com

Edgar Maquigussa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1756-1579>
Universidade Metropolitana de Santos, Brasil
E-mail: edgarmaquigussa@gmail.com

Paula Andrea de Santis Bastos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7582-5563>
Universidade Metropolitana de Santos, Brasil
E-mail: paulaasbastos@gmail.com

Resumo

O Porto de Santos é considerado o maior do Brasil e um dos principais do mundo. As atividades portuárias podem causar impactos socioambientais negativos e a piora da qualidade do ar é uma delas. O objetivo desse trabalho foi quantificar a emissão de NO_x no ar proveniente do tráfego dos navios no Porto de Santos, analisar se o NO_x emitido pelos navios é detectado na estação de análise da qualidade do ar da CETESB localizada na Ponta da Praia, no município de Santos e avaliar a ocorrência de eventos de saúde relacionados a doenças respiratórias nesse município. A emissão de óxidos de nitrogênio (NO_x), proveniente do tráfego de navios no Porto de Santos, foi calculada no período de janeiro de 2021 a fevereiro de 2022. Foi coletada a aferição mensal acumulada NO_x na CETESB estação "Santos – Ponta da Praia", no período de janeiro de 2021 a dezembro de 2022. No mesmo período verificada a ocorrência de eventos de saúde do aparelho respiratório (CID-10) no município de Santos pelo DATASUS. Foi evidenciada uma forte correlação entre o número de atracções, especialmente de cargas de granel sólido, e a emissão de NO_x. Eventos de saúde relacionados a doenças respiratórias, como bronquite e enfisema, em Santos mostraram uma correlação moderada e significativa com a concentração de NO_x. Foi identificada correlação moderada entre NO_x e a ocorrência de eventos de saúde na população infante-juvenil. Esses achados são importantes para entender a relação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias na região do Porto de Santos.

Palavras-chave: Qualidade do ar; Gases e partículas inaláveis; Saúde pública; Poluição.

Abstract

The Port of Santos is considered the largest in the country and one of the main in the world. Port activities can cause negative socio-environmental impacts, and effects on the air quality are one of them. The objective of this research was to quantify the emission of NO_x into the air from ship traffic in the Port of Santos, analyze whether NO_x emitted by ships is detected at the CETESB air quality analysis station located in Ponta da Praia, in the municipality of Santos, and evaluate the occurrence of health events related to respiratory diseases in this municipality. The emission of nitrogen oxides (NO_x), from ship traffic in the Port of Santos, was calculated from January 2021 to February 2022. The accumulated monthly NO_x measurement was collected at the CETESB station "Santos – Ponta da Praia", from January 2021 to December 2022. In the same period, the occurrence of respiratory system health events (ICD-10) was

verified in the municipality of Santos by DATASUS. A strong correlation was evidenced between the number of berthings, especially solid bulk cargo, and NO_x emissions. Health events related to respiratory diseases, such as bronchitis and emphysema, in Santos showed a moderate and significant correlation with NO_x concentration. A moderate correlation was identified between NO_x and the occurrence of health events in the child and youth population. These findings are important for understanding the relationship between air pollution and respiratory diseases in the Port of Santos region.

Keywords: Air quality; Inhalable gases and particles; Public health; Pollution.

Resumen

El Puerto de Santos es considerado el más grande de Brasil y uno de los más grandes del mundo. Las actividades portuarias pueden provocar impactos socioambientales negativos y el empeoramiento de la calidad del aire es uno de ellos. El objetivo de este trabajo fue cuantificar la emisión de NO_x al aire procedente del tráfico de barcos en el Puerto de Santos, analizar si el NO_x emitido por los barcos es detectado en la estación de análisis de calidad del aire CETESB ubicada en Ponta da Praia, en el municipio de Santos y evaluar la ocurrencia de eventos de salud relacionados con enfermedades respiratorias en este municipio. La emisión de óxidos de nitrógeno (NO_x), provenientes del tráfico de buques en el Puerto de Santos, se calculó de enero de 2021 a febrero de 2022. La medición mensual acumulada de NO_x fue recogida en la estación CETESB “Santos – Ponta da Praia”, de enero de 2021 a diciembre de 2022. En el mismo período, DATASUS verificó la ocurrencia de eventos de salud del sistema respiratorio (CIE-10) en el municipio de Santos. Se evidenció una fuerte correlación entre el número de atraques, especialmente de carga sólida a granel, y las emisiones de NO_x. Los eventos de salud relacionados con enfermedades respiratorias, como bronquitis y enfisema, en Santos mostraron correlación moderada y significativa con la concentración de NO_x. Se identificó una correlación moderada entre los NO_x y la ocurrencia de eventos de salud en la población infantil y juvenil. Estos hallazgos son importantes para comprender la relación entre la contaminación del aire y las enfermedades respiratorias en la región del Puerto de Santos.

Palabras clave: Calidad del aire; Gases y partículas inhalables; Salud pública; Contaminación.

1. Introdução

Os navios emitem poluentes, tanto em navegação quanto atracados, e essas emissões afetam consideravelmente a qualidade do ar, tendo grande impacto no oceano e no planeta (International Marine Organization, 2009). Os mais importantes poluentes emitidos por navios são óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO₂), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarbonetos (HC) e material particulado (MP) (Mota, 2017, Bailey et al., 2004). Vários estudos globais, regionais e locais foram realizados para estimar emissões marítimas de poluentes (Corbett & Koehler, 2003, Endresen et al. 2003). As emissões de NO_x, SO₂, MP e gases de efeito estufa (GEE) do transporte marítimo global aumentaram de 585 para 1.096 milhões de toneladas entre 1990 e 2007 (Saraçoğlu et al., 2013). Estudos locais sobre as emissões de poluentes dos navios nos golfos e em regiões portuárias apresentam a grandeza de megatoneladas (10⁶ toneladas) por ano de NO_x (1.725 x 10⁶ t), de SO₂ (1.246 x 10⁶ t), de monóxido de carbono (CO) (0,147 x 10⁶ t) e de HC (0,053 x 10⁶ t), no Mar Mediterrâneo e nas regiões do Mar Negro (Endresen et al., 2003. Saraçoğlu et al., 2013).

Os efeitos das emissões marítimas, do tráfego e manejo das cargas podem atingir e contaminar praias, canais, estreitos, golfos, ecossistemas sensíveis e trabalhadores do porto, assim como a população residente do entorno, especialmente os mais sensíveis (idosos e crianças). Estudos realizados no Porto de Leixões, em Portugal, mostraram cenários nos quais navios atracados respondem por 55% a 73% das concentrações totais de NO_x (Sorte et al. 2019, Nunes et al., 2017). Ressalta-se que as consequências da poluição nos portos sobre a poluição do ar e a saúde das pessoas podem incluir doenças graves como asma ou outras doenças respiratórias, doenças cardiovasculares, câncer de pulmão e morte prematura (Sorte et al., 2019; Corbett et al., 1999).

Em 2022, 29% das trocas comerciais brasileiras passaram pelo Porto de Santos, mantendo-o na liderança entre os portos nacionais em termos de valor movimentado (US\$ 174,6 bilhões)⁷. Contando com 41 arrendatários divididos em granel sólido vegetal, granel líquido, celulose, carga geral, multipropósito, sucos cítricos, passageiros, fertilizantes, carga geral/base *off shore*, veículos e área de expansão (Santos Port Authority, 2023a). Em 2021, 65,8% da movimentação de cargas foi para

exportação e 34,2% para importação, ocupando o oitavo lugar em exportações no país (Gonçalves & Nunes, 2008). Em 2022, a movimentação total das cargas em tonelagem foi de 162.446.877, com 50,5% de granel sólido, 37,7% de carga geral e 11,7% de granel líquido (Santos Port Authority, 2022). Os navios atracados contribuem com mais de 50% do NO_x, enquanto em trânsito contribuem com apenas 1% do total das emissões aferidas. Há poucos estudos mostrando o impacto exclusivo da emissão dos navios para a qualidade do ar na região portuária de Santos, uma vez que as atividades relacionadas podem atingir, de maneira significativa, estes resultados (Corbett & Koehler, 2003).

Destaca-se que o Porto de Santos apresenta muita proximidade com a população de Santos, que contempla idosos, jovens, crianças e um número muito grande de turistas de final de semana, feriados e férias (Santos Port Authority, 2022). A proximidade física do Porto com a população eleva a responsabilidade socioambiental do Complexo Portuário, sua regulamentação e fiscalização (Santos, 2020). Localizada no litoral paulista, a cidade de Santos tem uma população estimada de 433.991 habitantes segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística -IBGE (2022).

Pelo exposto, há uma necessidade de coletar dados a respeito das emissões de poluentes do ar produzidos pelos navios em Santos, o número de casos diagnosticados como doença respiratória no município de Santos e investigar possíveis associações entre a poluição emitida pelos navios e esta classe de doenças. Considerando isso, o objetivo desse trabalho foi quantificar a emissão de Nox no ar proveniente do tráfego dos navios no Porto de Santos, analisar se o Nox emitido pelos navios é detectado na estação de análise da qualidade do ar da CETESB localizada na Ponta da Praia, no município de Santos, assim como, avaliar a ocorrência de eventos de saúde relacionados a doenças respiratórias nesse município.

2. Metodologia

2.1 Emissões de poluentes pelos navios no Porto de Santos

O fluxo de mercadorias movimentadas e o número de atracações foi extraído do mensário estatístico do Porto de Santos para o período estudado, segmentado em carga geral, granel líquido e granel sólido (Santos Port Authority, 2023b). O cálculo das emissões mensais de NO_x dos navios foi feito utilizando a metodologia desenvolvida pelo *Transport Research Laboratory* (TRL), baseada nos estudos de Hickman et al. (1999). Nesses cálculos, são utilizados o volume transportado, o porte dos navios e a conversão simplificada da tonelagem (Ballini & Bozzo, 2015). Posteriormente, faz-se então a conversão do volume de cargas transportadas em frações de poluentes atmosféricos, levando em conta o porte dos navios e o trajeto de navegação desde o fundeadouro, próximo à entrada do canal, até o ponto de atracação, conforme apresentado por Ramires et al. (2024).

Para cada tonelada de diesel efetivamente consumida, foi determinada a fração do poluente NO_x lançada na atmosfera para categorizar e quantificar a poluição emitida pelo fluxo de navios do Porto de Santos. Não foram considerados no cálculo os navios de passageiros (Hickman et al., 1999; Woodyard, 2004).

2.2 Emissões de poluentes mensurados pela CETESB

Foi analisado o poluente NO_x detectado pela estação de análise da qualidade do ar da CETESB, localizada na Ponta da Praia em Santos no período de janeiro de 2021 a dezembro de 2022. O monitoramento da qualidade do ar (QUALAR) é realizado pela estação da CETESB denominada “Santos – Ponta da Praia”. Essa estação é móvel e localiza-se nas dependências do Complexo Esportivo Rebouças, na Praça Eng. José Rebouças s/n, Ponta da Praia (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2022a; Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2022b). A estação “Santos – Ponta da Praia” é a com maior proximidade do Porto de Santos, indicando a qualidade do ar da região portuária e de seu entorno.

2.3 Eventos respiratórios registrados no município de Santos

Para a verificação da ocorrência de doenças respiratórias no município de Santos, foi realizado um estudo observacional e analítico por meio de pesquisa no banco de dados do Departamento de Informática do SUS, do Estado de São Paulo, usando o TabNet, DATASUS (DATASUS, 2022).

Com base no período estudado, foram pesquisados os dados de atendimentos no SUS na cidade de Santos de acordo com os códigos para doenças respiratórias categorizadas na Classificação Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde, versão 10 (CID-10).

Foram selecionados: lista de morbidades da CID-10 (linha), ano/mês de atendimento (coluna) e autorizações para internação hospitalar (AIH) aprovadas (conteúdo). Subsequentemente, selecionou-se o município de Santos, o período estudado (jan/2021 a dez/2022) e o capítulo X – Doenças do aparelho respiratório da CID-10. Na análise posterior da faixa etária, este parâmetro também foi filtrado para <1 a 19 anos de idade, 20 a 59 anos de idade e 60 anos de idade ou mais.

2.4 Análise estatística

Após a caracterização das emissões do poluente NO_x atmosféricos de navios e segundo a estação da CETESB “Santos – Ponta da Praia” e do levantamento dos eventos relativos a doenças respiratórias na cidade de Santos, o software TIBCO Statistica™ versão 14.0.0.15 foi utilizado para as análises estatísticas.

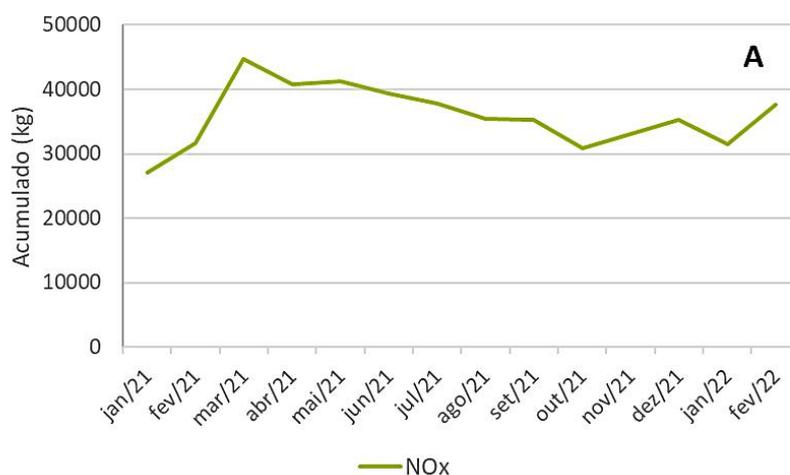
O teste de Kolmogorov-Smirnov foi empregado para avaliar a distribuição normal dos dados. Para a interpretação dos resultados, adotou-se o valor de significância estatística de 5% ($p < 0,05$).

Quando apropriado, foram feitas correlações de Pearson considerando os pré-requisitos de relação linear entre as variáveis contínuas de interesse: valores calculados do poluente pelo método do TRL e valores obtidos no monitoramento da qualidade do ar (QUALAR) realizado pela estação da CETESB “Santos – Ponta da Praia” para analisar a força da relação com o número de eventos de saúde relacionados ao CID de Doenças do aparelho respiratório na cidade de Santos. Foram feitas também correlações entre número de navios por tipo de carga e NO_x. A magnitude dos coeficientes de correlação foi classificada em módulo de acordo com Cohen (1988): inexistente ou fracos entre 0 e 0,29; moderado entre 0,30 e 0,49; e forte entre 0,5 e 1.

3. Resultados

O cálculo da quantidade de diesel consumido pelos navios com base no TRL foi usado para a determinação mensal acumulada da emissão de poluentes no período estudado. Os resultados dos cálculos referentes ao período de janeiro de 2021 a fevereiro de 2022 estão apresentados na Figura 1 (NO_x acumulado).

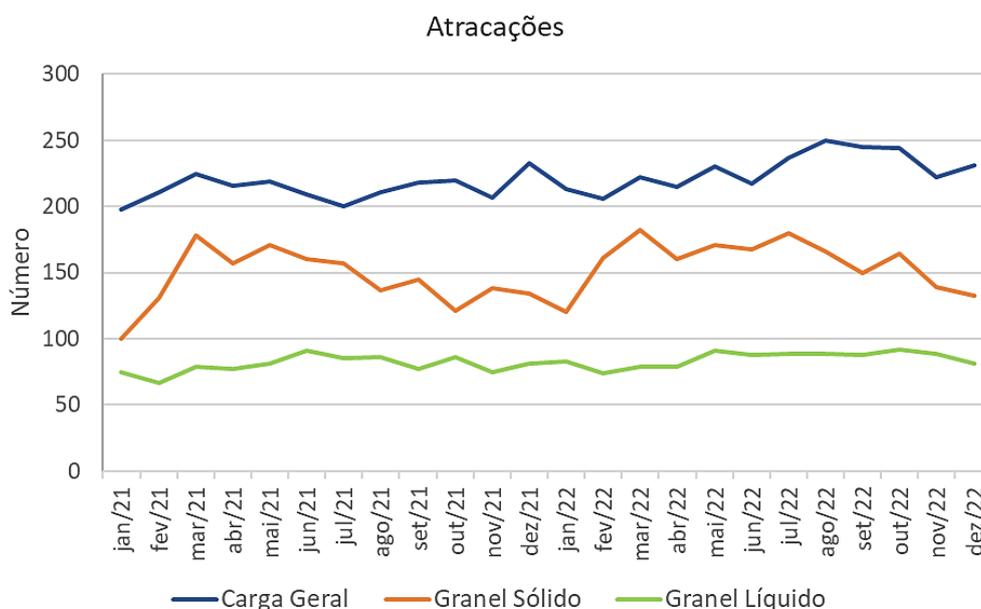
Figura 1 – Emissão acumulada mensal do poluente NOx, calculado a partir do TRL nos períodos de janeiro de 2021 a fevereiro de 2022.



Fonte: Autores.

A Figura 2 apresenta o número de atracções por tipo de carga, sendo que o maior número total de atracções foi observado no mês de julho de 2022 ($n = 506$) e o menor em janeiro de 2021 ($n = 373$). O maior número de atracções de carga geral foi em agosto de 2022 ($n = 250$), de granel sólido em março de 2022 ($n = 182$) e de granel líquido em outubro de 2022 ($n = 92$).

Figura 2 – Número de atracções registradas no Porto de Santos no período de janeiro de 2021 a dezembro de 2022 por tipo de navio de acordo com a carga transportada.



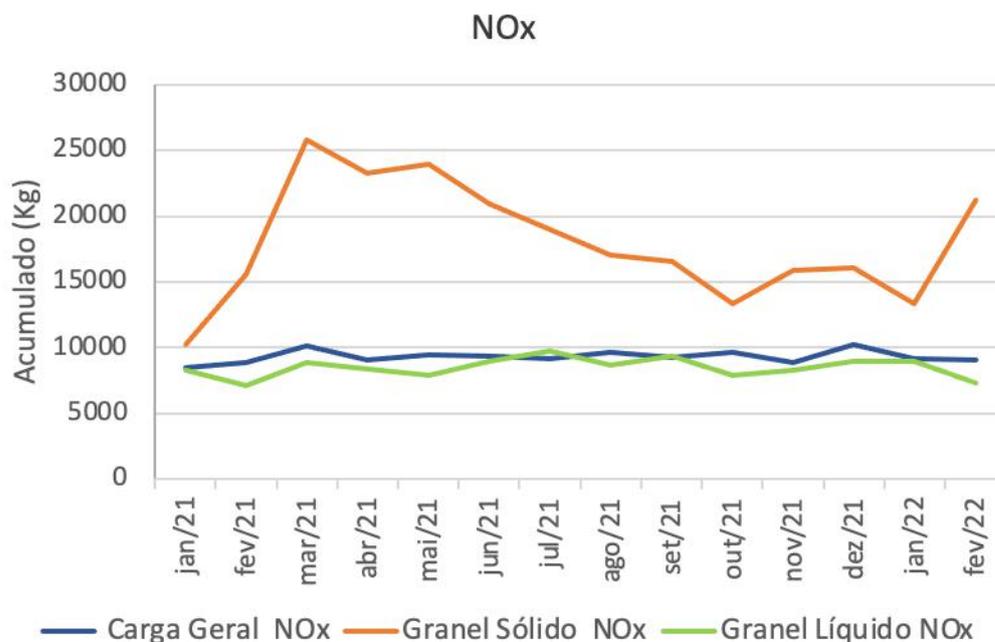
Fonte: Autores.

Dentre os poluentes dos segmentos carga geral, granel sólido e granel líquido, o NOx representou a maior fração, com valores máximos aproximados de 10.000 kg/mês para carga geral e granel líquido e 25.000 kg/mês para granel sólido.

A análise de NOx por mercadoria transportada em todos os meses analisados indicou sua maior emissão em navios de

granel sólido em comparação aos demais tipos de navio estudados (Figura 3).

Figura 3 – Emissão acumulada de NOx pelos navios do Porto de Santos no período de janeiro de 2021 a fevereiro de 2022 de acordo com o tipo de carga.

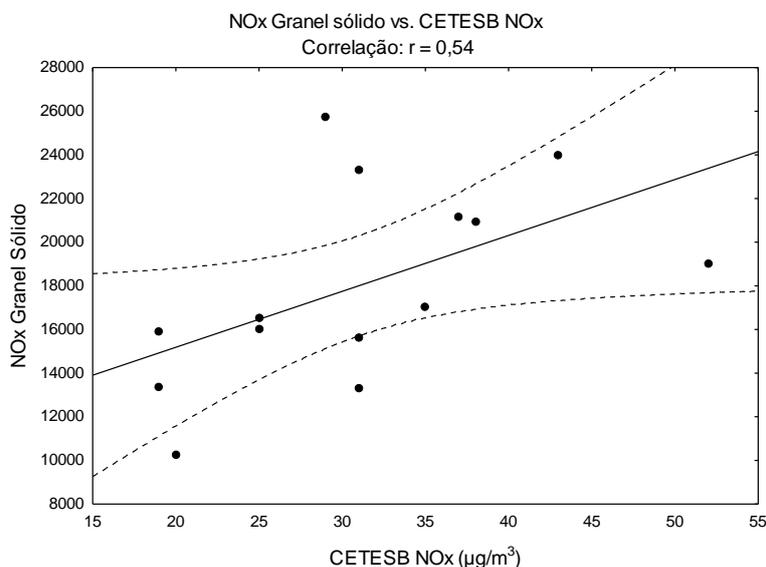


Fonte: Autores.

Em relação a qualidade do ar de Santos no mesmo período que foi analisado a emissão de NOx pelos navios do Porto, o relatório de distribuição da qualidade do ar da CETESB, que é uma avaliação de curto prazo, demonstrou que as medições se encontraram majoritariamente dentro da classificação boa (N1) para NOx.

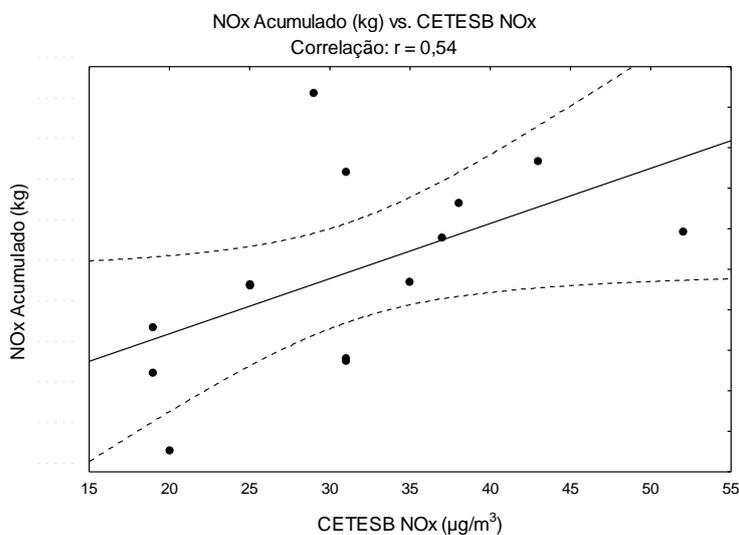
As Figuras 4 e 5 mostram a análise de correlação das emissões da variável dos NOx granel sólido e os valores acumulados de carga geral, granel sólido e granel líquido calculados por meio do método do TRL com a concentração do poluente NOx monitorado pela CETESB no período de fevereiro de 2021 a fevereiro de 2022. Os resultados revelam que os valores do poluente do ar NOx granel sólido e acumulado apresentam uma associação forte e estatisticamente significativa com os valores obtidos pela CETESB ($p < 0,05$). Na análise da emissão calculada de NOx carga geral e granel líquida não foram encontradas associações entre essas variáveis e a concentração de NOx obtida pela CETESB.

Figura 4 – Correlação de Pearson (r) entre a emissão do poluente NOx dos segmentos de granel sólido e valores mensais ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dos poluentes monitorados na Estação da CETESB “Santos – Ponta da Praia”.



Fonte: Autores.

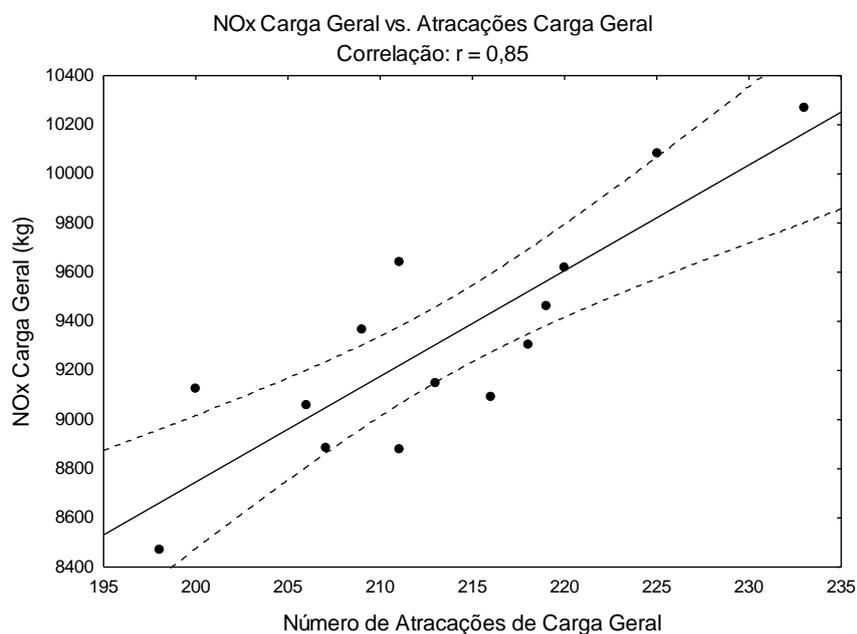
Figura 5 – Correlação de Pearson (r) entre a emissão do poluente NOx dos segmentos acumulados, e valores mensais ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dos poluentes monitorados na Estação da CETESB “Santos – Ponta da Praia”.



Fonte: Autores.

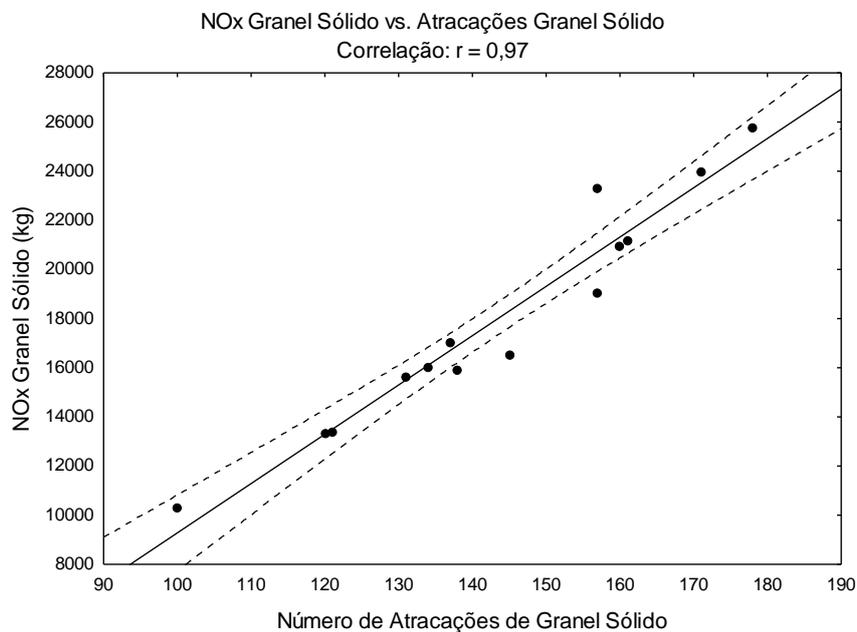
Os cálculos da emissão de NOx com relação à carga geral (Figura 6), granel sólido (Figura 7) e líquido (Figura 8), assim como o valor total (Figura 9), apresentam uma associação forte e estatisticamente significativa com número total de atracções de cada tipo de carga obtidos mensalmente em 2021 e 2022 (respectivamente, $r = 0,85$; $r = 0,97$; $r = 0,57$; $r = 0,94$; $p < 0,05$).

Figura 6 – Correlação de Pearson (r) entre a emissão do poluente NOx do segmento de carga geral, e número de atracções mensais de carga geral no Porto de Santos.



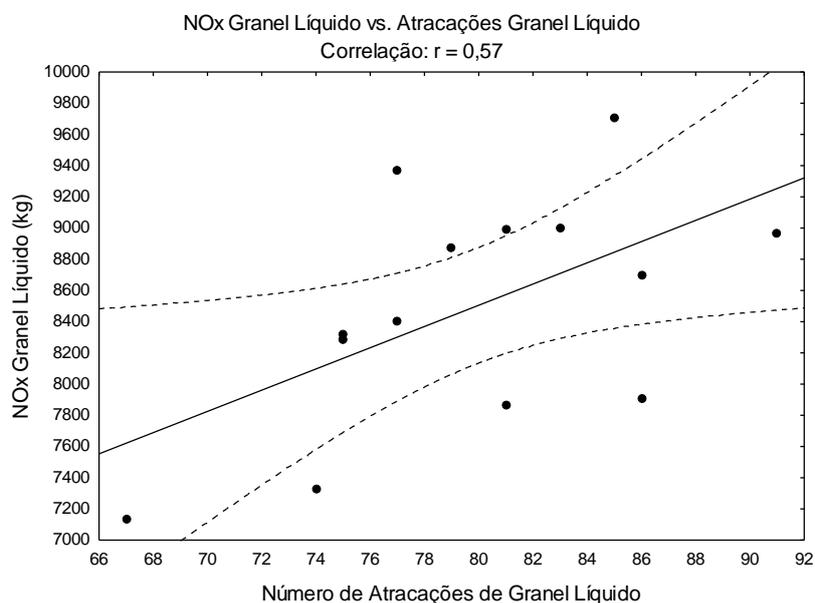
Fonte: Autores.

Figura 7 – Correlação de Pearson (r) entre a emissão do poluente NOx do segmento de granel sólido, e número de atracções mensais de granel sólido no Porto de Santos.



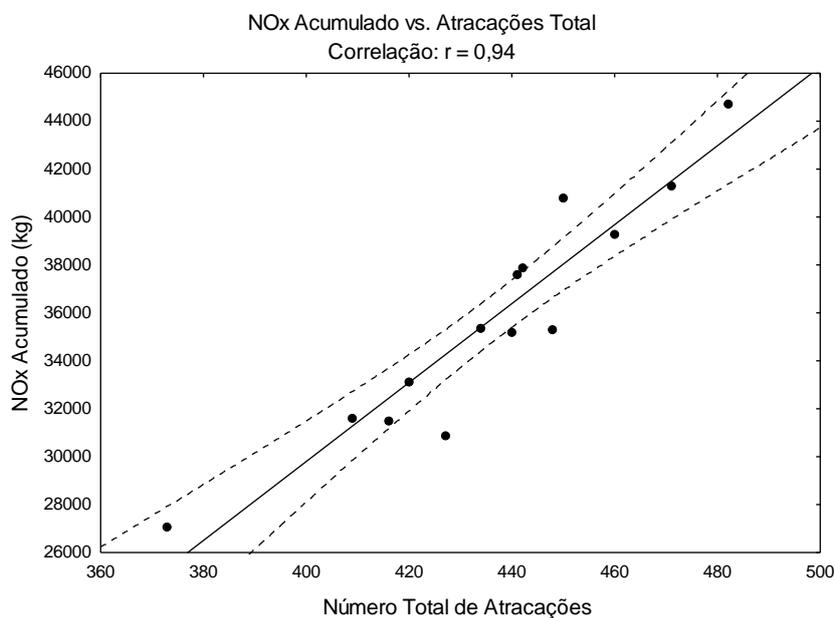
Fonte: Autores.

Figura 8 – Correlação de Pearson (r) entre a emissão do poluente NOx do segmento de granel líquido, e número de atracções mensais de granel líquido no Porto de Santos.



Fonte: Autores.

Figura 9 – Correlação de Pearson (r) entre a emissão do poluente NOx dos segmentos acumulados, e número total de atracções mensais no Porto de Santos.



Fonte: Autores.

A Tabela 1 resume o levantamento de dados no DATASUS para o período de janeiro de 2021 a dezembro de 2022 da classificação do CID-10 para doenças do aparelho respiratório (Capítulo X, J00-J99). No período analisado, foram registrados 3.688 eventos relacionados a doenças respiratórias em geral, excluindo gripe por *Influenza* e COVID-19. Os meses com maior número de eventos de saúde (>200/mês) foram dezembro de 2021 (n = 219), janeiro (n = 234), maio (n = 210), julho (n = 244), agosto (n = 232), setembro (n = 239) e outubro de 2022 (n = 209).

Tabela 1 – Número de eventos de saúde registrados no SUS para doenças do aparelho respiratório (Cap. X do CID-10) no município de Santos (SP) no período de janeiro de 2021 a dezembro de 2022.

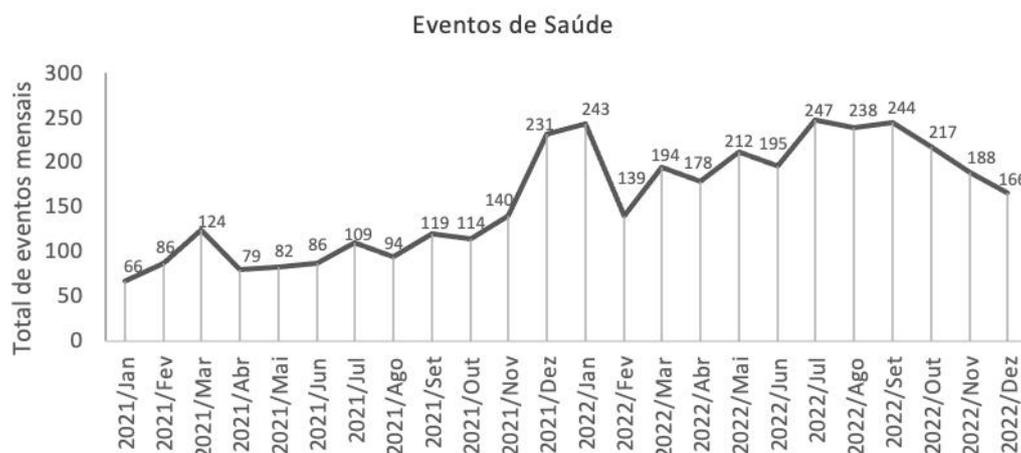
Lista CID-10	2021 Jan	2021 Fev	2021 Mar	2021 Abr	2021 Mai	2021 Jun	2021 Jul	2021 Ago	2021 Set	2021 Out	2021 Nov	2021 Dez	TOTAL
Outras doenças do aparelho respiratório	34	44	46	47	46	43	48	41	55	59	74	96	633
Pneumonia	16	23	48	20	18	16	34	26	28	38	37	79	383
Bronquite, enfisema e outras DPOC	4	6	9	5	2	5	13	6	12	6	9	14	91
Bronquite aguda e bronquiolite aguda	3	10	15	3	6	6	8	12	5	1	6	17	92
Asma	-	-	4	2	5	7	1	4	14	5	10	7	59
Outras infecções agudas das vias aéreas superiores	-	-	1	-	1	-	-	-	1	1	-	1	5
Outras doenças do nariz e dos seios paranasais	3	1	-	-	1	1	1	2	-	1	-	-	10
Outras doenças do trato respiratório superior	3	1	-	-	2	2	-	-	1	-	-	3	12
Bronquiectasia	-	-	-	2	1	-	-	-	-	1	-	-	4
Laringite e traqueíte agudas	-	-	-	-	-	-	1	-	1	1	-	-	3
Doenças crônicas das amígdalas e das adenóides	2	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	4
Faringite aguda e amigdalite aguda	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	2
Pneumoconiose	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1
Doenças do aparelho respiratório (CID: J00-99)	65	85	123	79	82	80	106	92	119	113	136	219	1299

Lista CID-10	2022 Jan	2022 Fev	2022 Mar	2022 Abr	2022 Mai	2022 Jun	2022 Jul	2022 Ago	2022 Set	2022 Out	2022 Nov	2022 Dez	TOTAL
Outras doenças do aparelho respiratório	86	58	79	74	69	66	87	77	103	85	63	66	913
Pneumonia	110	52	73	68	86	88	98	91	98	75	82	66	987
Bronquite, enfisema e outras DPOC	17	8	16	15	18	16	24	26	19	21	14	11	205
Bronquite aguda e bronquiolite aguda	14	12	12	11	27	9	20	10	3	7	12	10	147
Asma	1	-	5	2	9	9	7	17	10	15	9	4	88
Outras infecções agudas das vias aéreas superiores	1	1	-	-	-	1	5	5	4	2	-	2	21
Outras doenças do nariz e dos seios paranasais	1	-	-	-	-	-	1	-	-	2	-	-	4
Outras doenças do trato respiratório superior	1	-	-	-	-	1	-	2	1	-	-	-	5
Bronquiectasia	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	2
Laringite e traqueíte agudas	1	-	-	-	1	-	1	1	1	-	-	-	5
Doenças crônicas das amígdalas e das adenóides	-	1	1	1	-	1	1	-	-	1	1	-	7
Faringite aguda e amigdalite aguda	1	-	1	-	-	-	-	3	-	-	-	-	5
Pneumoconiose	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Doenças do aparelho respiratório (CID: J00-99)	234	132	187	171	210	191	244	232	239	209	181	159	2389

Obs.: Os meses com mais de 200 eventos de saúde estão destacados em negrito. Fonte: Autores.

A evolução do número de eventos durante o período analisado é apresentada na Figura 10.

Figura 10 – Evolução do número de eventos de saúde registrados no SUS para doenças do aparelho respiratório (Cap. X do CID-10) no município de Santos (SP) no período de janeiro de 2021 a dezembro de 2022.



Fonte: Autores.

Os dados levantados de eventos do aparelho respiratório separados por faixa etária estão apresentados na Tabela 2. Os registros de eventos de saúde do aparelho respiratório foram maiores nas crianças e adolescentes (<1-19 anos; n = 1156) e na população idosa (+60 anos; n = 1549) em comparação à população adulta (20-59 anos; n = 925).

Tabela 2 – Número de eventos de saúde registrados no SUS por faixa etária para doenças do aparelho respiratório (Cap. X do CID-10) no município de Santos (SP) no período de janeiro de 2021 a dezembro de 2022.

CID-10: Doenças do aparelho respiratório (J00-99)

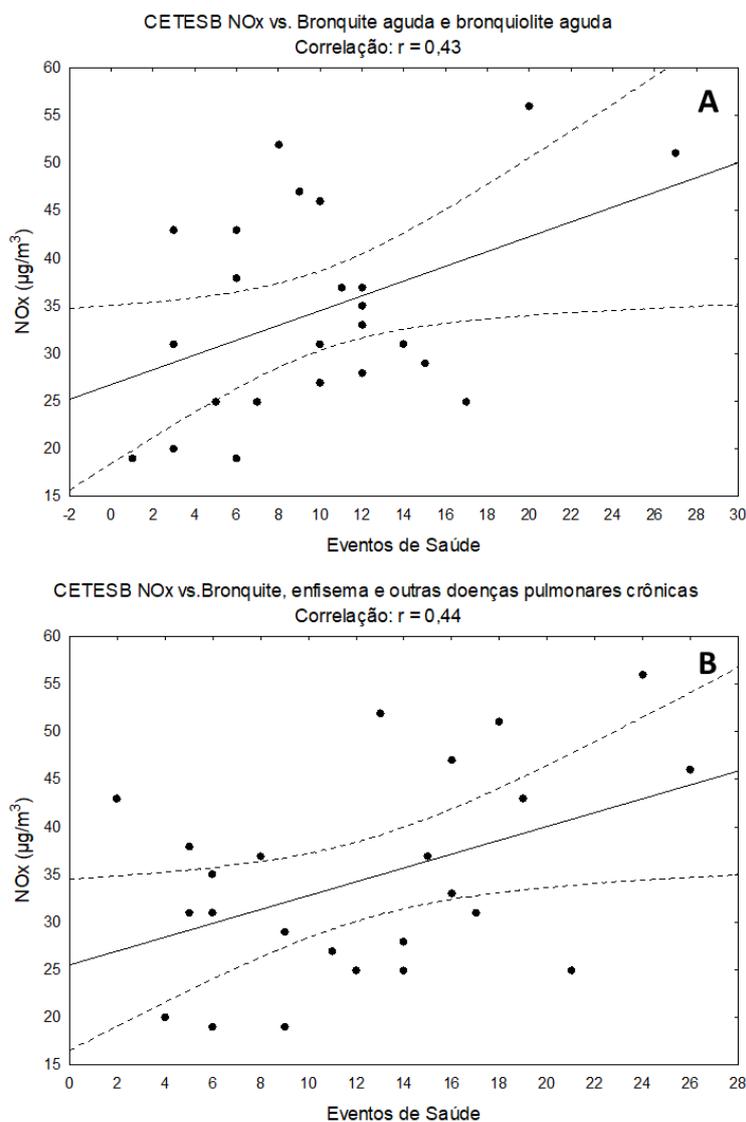
IDADE	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1 a 19 anos	27	38	49	12	24	27	35	35	35	37	39	93
20 a 59 anos	24	31	22	27	36	34	39	46	28	39	33	57
60 anos ou mais	30	33	46	36	36	26	36	64	71	69	70	85
IDADE	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1 a 19 anos	52	58	49	40	91	74	79	76	56	51	54	25
20 a 59 anos	49	32	64	40	40	34	42	55	55	50	38	10
60 anos ou mais	98	60	76	78	93	93	88	90	80	93	64	34

Fonte: Autores.

Foi realizada a análise de correlação de Pearson das variáveis NOx granel sólido e acumulado com os eventos de saúde hospitalares registrados no SUS no município de Santos e classificados como doenças do aparelho respiratório segundo o código CID-10 (Cap. X). Não foram encontradas associações entre o NOx calculado via TRL e as doenças respiratórias analisadas.

Em relação às emissões do poluente NOx monitorados pela CETESB, foi observada uma associação moderada e estatisticamente significativa com a concentração de NOx no ar e eventos de doenças respiratórias, como a bronquite aguda e bronquiolite aguda ($r = 0,43$; $p < 0,05$; Figura 11A) e bronquite, enfisema e outras doenças pulmonares crônicas ($r = 0,44$; $p < 0,05$; Figura 11B).

Figura 11 – Correlação de Pearson (r) entre valores mensais de NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) monitorado na Estação da CETESB “Santos – Ponta da Praia” com os eventos de saúde hospitalares de (A) bronquite aguda e bronquiolite aguda e (B) bronquite, enfisema e outras doenças pulmonares crônicas *segundo classificação do CID-10* para doenças do aparelho respiratório na cidade de Santos.



Fonte: Autores.

4. Discussão

O desenvolvimento da economia mundial está intimamente relacionado à indústria marítima, sendo o transporte marítimo o modo de transporte de carga mais eficiente em termos energéticos (Corbett et al., 1999; Deniz et al., 2010). Considerando que mais de 80% do comércio mundial é transportado pelo mar e que os navios emitem gases poluidores do ar (The International Council on Clean Transportation, 2007), esta pesquisa, que verifica a relação entre os poluentes atmosféricos ambientais emitidos pelos navios e os eventos de saúde relacionados a doenças respiratórias na população que trabalha e vive próximo aos portos, é relevante e atual.

Destaca-se que o poluente atmosférico NOx, avaliado pelo cálculo do TRL é um indicador que pode ser avaliado a partir do mensário estatístico do Porto de Santos. Nessa pesquisa, focou-se exclusivamente no NOx por ser o único poluente mensurado tanto pelo método TRL como pela estação CETESB “Santos – Ponta da Praia”, representando a poluição emitida

pelos navios que trafegam pelo Porto de Santos. A maior emissão acumulada do poluente NO_x por navios correspondeu aos meses com maior transporte de grãos. Particularmente, observou-se uma associação forte e estatisticamente significativa entre o NO_x emitido por navios que transportavam granel sólido e o valor acumulado dos navios com as mensurações de NO_x da CETESB, no período de fevereiro de 2021 a fevereiro de 2022. Ou seja, o transporte de grãos gerou maior emissão de NO_x. Navios do porto de Ambarli (Turquia) que transportaram graneis sólidos apresentaram maiores emissões por tonelagem e passam mais tempo atracados (Deniz & Kilic A, 2010), portanto, contribuem consideravelmente com a piora da qualidade do ar. Na análise da emissão calculada de NO_x de navios de carga geral e de granel líquido não foram encontradas associações entre essas variáveis e a concentração de NO_x obtida pela CETESB.

Em relação às emissões do poluente NO_x monitorados pela CETESB e a ocorrência de eventos respiratórios relatados no DATASUS destaca-se, de antemão, que foi observada uma associação moderada e estatisticamente significativa entre a concentração de NO_x no ar e os eventos de doenças respiratórias, como bronquite aguda, bronquiolite aguda, enfisema e outras doenças pulmonares crônicas. Ou seja, a maior emissão do poluente NO_x pelos navios no Porto de Santos foi identificada pela estação CETESB “Santos – Ponta da Praia” e houve correspondência a maior número de eventos respiratórios em pacientes atendidos nos hospitais do município de Santos. Esses dados são muito relevantes porque alertam para a necessidade de mais atenção à poluição gerada pelos navios nos portos, considerando-se tanto a exposição da população de trabalhadores portuários como a da população do município em seu entorno.

O levantamento de dados no DATASUS para o período de janeiro de 2021 a dezembro de 2022 da classificação do CID-10 para doenças do aparelho respiratório, excluindo-se gripe por *Influenza* e COVID-19, identificou maior número de eventos de saúde em dezembro de 2021 e janeiro, maio, julho, agosto, setembro e outubro de 2022. Adicionalmente, ao analisar os dados por faixa etária (<1-19 anos; 20-59 anos; +60 anos de idade), chama a atenção o maior número de eventos nas faixas até 19 anos de idade e com 60 anos ou mais, o que é respaldado por estudos publicados anteriormente para essas populações suscetíveis a doenças respiratórias (Arslan, Baltaci, Sahin & Onat, 2022; American Thoracic Society, 2000; Gent et al., 2003). Nas análises de correlação com os poluentes atmosféricos, foi encontrada uma correlação moderada ($r = 0,45$) entre NO_x e a ocorrência de eventos de saúde na população infanto-juvenil. Uma análise mais aprofundada de morbidades frequentes em crianças merece consideração futura pela quantidade de casos de asma encontrados e inúmeras evidências do agravamento da doença na presença de concentrações elevadas de poluentes atmosféricos. Sarra e Mülfarth (2021) avaliaram a poluição atmosférica no município de Santos e identificaram a deterioração da qualidade do ar nos bairros próximos ao Porto. Essa situação é muito importante, pois o Porto apresenta muita proximidade com a área urbana do município de Santos, que contempla idosos, jovens, crianças e um número muito grande de turistas nos finais de semana, feriados e férias (Santos Port Authority, 2022).

Entretanto, algumas limitações foram encontradas em relação a coleta dos dados de saúde no DATASUS. A primeira deles é a dependência da avaliação do quadro pelo médico, o que pode impactar na classificação na doença no CID-10. Por exemplo, um episódio de agudização de doença crônica pode erroneamente ser considerada como uma doença aguda, ou vice-versa. Além disso, existe a possibilidade de um único paciente ser classificado após atendimento com mais de um código de CID-10. Outro ponto importante a ser mencionado neste trabalho é não ser possível confirmar se a residência é permanente. Por fim, a entrada de dados não é estática e pode ser alterada meses após o evento.

Nesse sentido, é importante ressaltar que a proximidade física do Porto de Santos com a população aumenta a responsabilidade socioambiental do Complexo Portuário, sua regulamentação e fiscalização (Santos, 2020). Deve-se lembrar que tanto a população de trabalhadores portuários como a do entorno estão permanentemente em contato com os poluentes gerados pela atividade portuária e, portanto, sujeitas as consequências do contato com esses poluentes. Saxe e Larsen (2004) usaram um modelo operacional meteorológico da qualidade do ar para realizar o cálculo da dispersão urbana dos poluentes

provenientes dos navios nos portos dinamarqueses de Copenhagen, Elsinor e Koge. Concluiu-se que os altos níveis de NO_x convertidos em O₃ e o acúmulo de MP₁₀ podem causar problemas de saúde nas pessoas nos portos de Copenhagen e Elsinor. Medidas para diminuir a emissão de NO_x e MP₁₀ dos navios, assim como monitorar as concentrações nas regiões próximas ao porto, devem ser consideradas.

Portanto, é imperiosa a implementação de medidas de curto, médio e longo prazo para controle da emissão de poluentes atmosféricos no Porto de Santos, como adequação do canal portuário e priorização de embarcações com matrizes energéticas mais limpas^{21,49,50}, planos de fornecimento de energia elétrica terrestre para navios atracados (desligamento de motores auxiliares), manejo sustentável de cargas e investimento em estações de monitoramento de poluentes atmosféricos para melhor controle da área interna do Porto. Além disso, é fundamental a fiscalização e cumprimento das normas e convenções vigentes. O comprometimento público e privado com a controle da emissão de poluentes atmosféricos e a observância das convenções e regulamentações, como a Marpol (Marpol 73/37, 1997), resoluções do CONAMA/CONSEMA (Brasil, 2018; São Paulo, 2021) e recomendações da OMS (World Health Organization Regional Office for Europe, 2008; World Health Organization, 2021) e da OMI (International Marine Organization, 2009), pode minimizar os impactos da proximidade do Porto de Santos com a população local, potencialmente reduzindo quadros respiratórios associados à poluição atmosférica e, assim, melhorando a qualidade de saúde.

5. Conclusão

Os resultados demonstraram que o NO_x emitido pelos navios do Porto de Santos foi o único poluente em comum entre os cálculos do método TRL e as medições da estação CETESB “Santos – Ponta da Praia”. Além disso, foi evidenciada uma forte correlação entre o número de atracações, especialmente de cargas de granel sólido, e a emissão de NO_x. Eventos de saúde relacionados a doenças respiratórias, como bronquite e enfisema, em Santos mostraram uma correlação moderada e significativa com a concentração de NO_x. Esses achados são importantes para entender a relação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias na região do Porto de Santos.

Entretanto, mais estudos precisam ser realizados para elucidar com mais detalhes a relação entre doenças do aparelho respiratório presente na população do Porto e seu entorno relacionando-as à emissão de poluentes emitidos pelos navios.

Referências

- American Thoracic Society. (2000). What Constitutes an Adverse Health Effect of Air Pollution? *American Journal of Respiratory Critical Care Medicine*, 161, 665–673.
- Arslan, H., Baltaci, H., Sahin, U. A. & Onat, B. (2022). The relationship between air pollutants and respiratory diseases for the western Turkey. *Atmospheric Pollution Research*, 13(2), 101322.
- Bailey, B., Plenys, T., Solomon, G. M., Campbell, T. R., Feuer, G. R., Masters, J. & Tonkonogy, B. (2004). *Harboring Pollution: Strategies to Clean Up U.S. Ports* <https://www.nrdc.org/sites/default/files/ports2.pdf>.
- Ballini, F. & Bozzo, R. (2015). Air pollution from ships in ports: The socio-economic benefit of cold-ironing technology. *Research in Transportation Business & Management*, 17, 92–98.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2018). *Resolução CONAMA nº 491, de 19 de novembro de 2018*. <http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>.
- Cohen, J. (1998). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Second edition. New York: Routledge.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2022a). *Qualidade do ar no estado de São Paulo*. CETESB. <https://cetesb.sp.gov.br/ar/>.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2022b). *Qualidade do ar: redes de monitoramento*. [<https://cetesb.sp.gov.br/ar/redes-de-monitoramento/>].
- Corbett, J. J; Fischbeck, P. S. & Pandis, S. N. (1999). Global nitrogen and sulfur inventories for oceangoing ships. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, 104(D3), 3457–3470.

- Corbett, J. J. & Koehler, H. W. (2003). Updated Emissions from Ocean Shipping. *Journal of Geophysics Research*, 108(D20), 4650.
- DATASUS. TabNet. (2022). <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/niSP.def>.
- Deniz, C., Kilic, A. & Cıvkaroglu, G. (2010). Estimation of shipping emissions in Candarli Gulf, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 171, 219–228.
- Deniz, C. & Kilic, A. (2010). Estimation and assessment of shipping emissions in the region of Ambarlı Port, Turkey. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 29(1), 107–115.
- Endresen, Ø., Sørgård, E., Sundet, J. K., Dalsøren, S. B., Isaksen, I. S. A., Berglen, T. F. & Gravir, G. (2003). Emission from international sea transportation and environmental impact. *Journal of Geophysics Research Atmosphere*, 108(D17), 14–22.
- Gent, J. F., Triche, E. W., Holford, T. R., Belanger, K., Bracken, M. B., Beckett, W.S. & Leaderer, B. P. (2003). Association of low-level ozone and fine particles with respiratory symptoms in children with asthma. *Journal of American Association*, 8;290(14), 1859-1867.
- Gonçalves, A. & Nunes, L. A. P. (2008). O Grande Porto – A modernização no Porto de Santos. Edição 1. Santos: Realejo. 326p.
- Hickman, J., Hassel, D., Joumard, R., Samaras, Z. & Sorenson, S. (1999). Methodology for calculating transport emissions and energy consumption: Part C. Ship Transport. <https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/meet.pdf>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022) Panorama de Santos. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/santos/panorama>.
- International Marine Organization (2009) Second IMO GHG Study. <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/SecondIMOGHGStudy2009.pdf>.
- Marpol 73/78. (1997) Anexo VI: Regras para a prevenção da poluição do ar por navios https://www.ccaimo.mar.mil.br/ccaimo/sites/default/files/marpol_anexo6-12fev_0.pdf.
- Mota, C. R. (2017). *Contratos marítimos de transporte de mercadorias, na navegação liner, e a responsabilidade por dano ao meio ambiente marinho*. (Dissertação). Fortaleza, CE. Faculdade de Direito da Universidade Federal do Ceará. 144p.
- Nunes, R., Alvim-Ferraz, M. C. M., Martins, F., & Sousa, S. (2017). Assessment of shipping emissions on four ports of Portugal. *Environmental Pollution*, 1-17.
- Ramires, R. H. de P., Bauer, G., Bastos, P. A. de S., Maquigussa, E., & Oliveira-Sales, E. B. (2024). Categorização da poluição do ar por navios no Porto de Santos (Santos, Brasil). *Saúde E Meio Ambiente: Revista Interdisciplinar*, 13, 105–116. <https://doi.org/10.24302/sma.v13.5104>
- Santos Port Authority. (2023a). *Fatos e Dados. Santos*. <https://www.portodesantos.com.br/fatos-e-dados/>.
- Santos Port Authority. (2023b). Mensário estatístico de junho de 2023. Santos. <https://www.portodesantos.com.br/informacoes-operacionais/estatisticas/mensario-estatistico/>.
- Santos Port Authority. (2022) Relatório anual de 2022. Santos. <https://www.portodesantos.com.br/informacoes-financeiras/relatorios-anuais/>.
- Santos, T. H. D. (2020). *Relação porto-cidade: sustentabilidade Porto de Santos*. (Dissertação). Santos. Universidade Católica de Santos. 107p.
- São Paulo. Secretaria de Estrutura e Meio Ambiente. Conselho Estadual do Meio Ambiente. (2021). Deliberação CONSEMA nº 04, de 19 de maio de 2021. https://smastr16.blob.core.windows.net/consema/sites/15/2021/05/del-04_2021-meta-intermediaria-etapa-2-mi2.pdf
- Saraçoğlu, H., Deniz, C. & Kılıç, A. (2013). An Investigation on the Effects of Ship Source Emissions in Izmir Port, Turkey. *Scientific World Journal*, 218324. 8pp.
- Sarra, S. R. & Müllfarth, R. C. K. (2021). A poluição atmosférica na cidade de Santos (Estado de São Paulo - Brasil) e suas repercussões para a saúde. *Brazilian Journal of Development*, 4;7(11):101963-101981.
- Saxe, H. & Larsen, T. (2004). Air pollution from ships in three Danish ports. *Atmospheric Environment*, 38(24), 4057–4067.
- Sorte, S., Arunachalam, S., Naess, B., Seppanen, C., Rodrigues, V., Valencia, A., Borrego, C., & Monteiro, A. (2019). Assessment of source contribution to air quality in an urban area close to a harbor: Case-study in Porto, Portugal. *Science of the Total Environment*, 20(662),347–360.
- The International Council on Clean Transportation. (2007). Air Pollution and Greenhouse Gas Emissions from Oceangoing Ships: Impacts, Mitigation Options and Opportunities for Managing Growth. https://theicct.org/sites/default/files/publications/oceangoing_ships_2007.pdf.
- Woodyard, D. (2004). *Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines*. 8th ed. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann.
- World Health Organization Regional Office for Europe. (2008). Air Quality Guidelines – Global Update 2005. Particulate Matter Ozone Nitrogen Dioxide and Sulphur Dioxide. Copenhagen: World Health Organization Europe. <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-SDE-PHE-OEH-06.02>
- World Health Organization. (2021).WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneve: World Health Organization.