IMPACTOS DE ÍONS ATMOSFÉRICOS SNA EM RESERVATÓRIOS E RECURSOS HÍDRICOS

Silvia Vitória Guimarães Santos [1]; Raynne Aparecida de Sousa Pires [2]; André Luis Dantas Ramos [3]; Adnívia Santos Costa Monteiro [4]; Rennan Geovanny Oliveira Araujo [5]; Tarcísio Silva de Almeida [6]; Samir Hipólito dos Santos [7] & Silvânio Silvério Lopes da Costa [8]

RESUMO – A poluição atmosférica representa uma fonte de entrada de compostos químicos em ambientes aquáticos, principalmente por meio da deposição seca e úmida de espécies sulfuradas e nitrogenadas presentes no material particulado inalável (MP_{10}). Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo investigar a dinâmica dos íons inorgânicos solúveis sulfato (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) (SNA) associados ao MP_{10} e seu impacto nos recursos hídricos e relação com variáveis meteorológicas. As amostras de MP_{10} foram analisadas por cromatografia iônica para determinação das concentrações de SNA. Os resultados mostraram predominância de sulfato, indicando formação de aerossóis secundários associados a emissões antrópicas e influenciados por condições meteorológicas. Elevada umidade favoreceu a formação desses compostos, enquanto a precipitação promoveu sua remoção e transferência para ambientes aquáticos. A deposição atmosférica pode contribuir para eutrofização e acidificação, alterando a qualidade da água. Conclui-se que o monitoramento conjunto dos recursos hídricos e da qualidade do ar é importante.

ABSTRACT– Air pollution represents a source of chemical compounds entering aquatic environments, mainly through the dry and wet deposition of sulfur and nitrogen species present in inhalable particulate matter (PM_{10}). In this context, this work aimed to investigate the dynamics of soluble inorganic ions sulfate (SO_4^{2-}), nitrate (NO_3^-), and ammonium (NH_4^+) (SNA) associated with PM_{10} and their impact on water resources and relationship with meteorological variables. PM_{10} samples were analyzed by ion chromatography to determine SNA concentrations. The results showed a predominance of sulfate, indicating the formation of secondary aerosols associated with anthropogenic emissions and influenced by meteorological conditions. High humidity favored the formation of these compounds, while precipitation promoted their removal and transfer to aquatic environments. Atmospheric deposition can contribute to eutrophication and acidification, altering water quality. It is concluded that the joint monitoring of water resources and air quality is

[1]) Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão – SE, Brasil. silvia.guima23@gmail.com
[2]) Graduanda em Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão – SE, Brasil. raynneray@gmail.com
[3]) Professor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão – SE, Brasil. aldramos@gmail.com
[4]) Professora Visitante, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão – SE, Brasil. adnivia@academico.ufs.br
[5]) Professor, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador – BA, Brasil. rgoa02@gmail.com
[6]) Professor Adjunto, Universidade de Brasília (UnB), Brasília – DF, Brasil. tarcisiofederalsa@hotmail.com
[7]) Professor, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão – SE, Brasil. samirhipolito@gmail.com
[8]) Pesquisador, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão – SE, Brasil. silvanioslc@gmail.com

important eutrophication and acidification processes, altering water quality. Therefore, joint monitoring of water resources and air quality is important.

Palavras-Chave – Deposição atmosférica, eutrofização, íons SNA

1. INTRODUÇÃO

A integridade geoquímica dos recursos hídricos é dependente da dinâmica de deposição do material particulado (MP) atmosférico. O material particulado inalável (MP_{10}) pode ser emitido a partir de fontes naturais, como *spray* marinho e ressuspensão do solo, ou por fontes antrópicas, como queima de combustíveis fósseis e indústrias.

Por ter diferentes tipos de fontes, esse material apresenta uma mistura complexa na sua composição, sendo majoritariamente composto por íons inorgânicos solúveis em água (Han *et al.* (2024)). Os íons que compõem o MP_{10} são os íons primários, emitidos diretamente de suas fontes, cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^{+}), sódio (Na^{+}), cloreto (Cl^{-}), fluoreto (F^{-}) e os íons secundários, formados por reações químicas na atmosfera, sulfato (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^{-}) e amônio (NH_4^{+}) conhecidos como SNA (Guo *et al.* (2023)).

Os íons secundários SNA desempenham um papel crítico na acidificação de ecossistemas e na eutrofização (Chianese *et al.* (2022); Zhen *et al.* (2025)). Ao serem depositados em corpos d'água por meio da deposição úmida ou seca, esses íons se tornam biodisponíveis para organismos, como cianobactérias e algas, contribuindo para o enriquecimento nutricional, que ao se tornar excessivo, desencadeia a eutrofização (Wu *et al*. (2025)).

Os óxidos de enxofre (SOx) e de nitrogênio (NOx) que são liberados na atmosfera através da queima de combustíveis fósseis, contribuem para a formação da chuva ácida. A partir desses óxidos há formação de ácido nítrico (HNO_3) e ácido sulfúrico (H_2SO_4), que estão presentes na chuva ácida e influenciam na redução do pH da chuva, surtindo efeitos como a lixiviação de nutrientes essenciais do solo (cálcio e magnésio) e acidificação de águas superficiais (Fontenele *et al.* (2009)).

A cidade de Aracaju é influenciada de forma simultânea por emissões veiculares, fontes urbanas e pelas proximidades com corpos hídricos estuarinos e ambientes costeiros. Essas características favorecem a interação entre sistemas aquáticos e os poluentes atmosféricos, contribuindo para a transferência de íons SNA para canais, rios e reservatórios urbanos por meio da deposição seca e úmida.

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo investigar a dinâmica da deposição atmosférica dos íons sulfato, nitrato e amônio associados ao material particulado inalável em uma área urbana da cidade de Aracaju-SE, localizada próxima a corpos hídricos, discutindo sua

contribuição para processos de eutrofização e acidificação, bem como a influência das condições meteorológicas nos processos de formação, transporte e deposição desses compostos.

2. METODOLOGIA

2.1. Amostragem

O município de Aracaju, Sergipe, foi fundado em 17 de março de 1855 e ocupa uma área de 181.857 Km^2 com uma população de aproximadamente 628.849 habitantes (IBGE, (2025)). A amostragem do material particulado atmosférico foi realizada em área urbana próxima a um terminal de transporte urbano, no Distrito Industrial (DIA), com o ponto de amostragem em uma estação de monitoramento de qualidade do ar disposto pela Administração Estadual do Meio Ambiente (ADEMA) do Estado de Sergipe, com coordenadas 7104659E 8789116N (UTM), como mostrado na Figura 1.

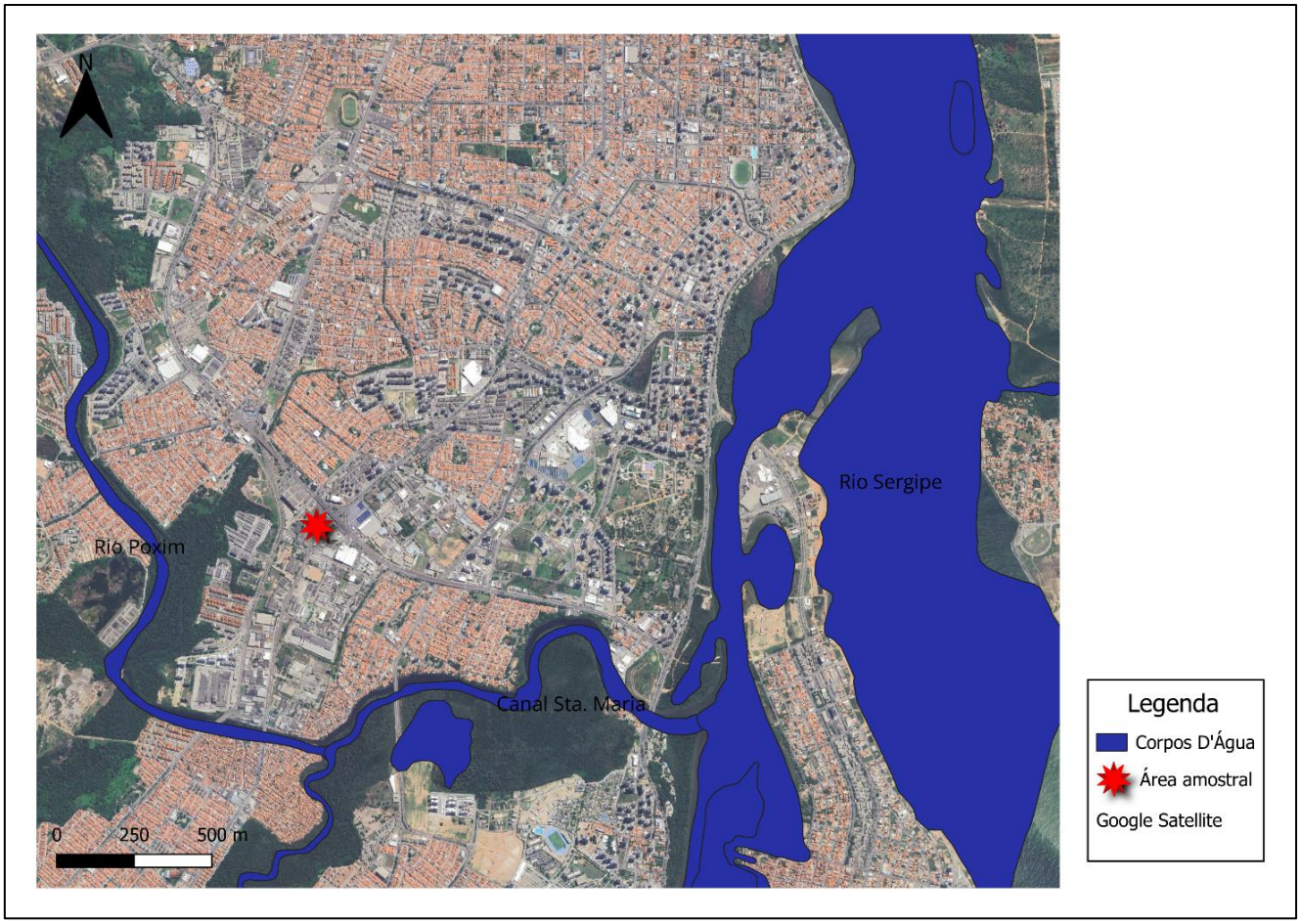


Figura 1 - Localização da área de amostragem e dos corpos hídricos próximos na região de estudo

Os processos de amostragem seguiram as condições descritas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT – NBR 9547) (BRASIL (1997)) e pela Resolução n° 506/2024 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL (2024)). O material foi depositado em filtros de fibra de vidro (E55, 20,32 x 25,40 cm, Energética, Rio de Janeiro) e coletado na forma de partículas inaláveis (MP_{10}) utilizando amostradores de grande volume (Energética, Rio de Janeiro, Brasil). As amostragens foram realizadas entre janeiro e dezembro do ano de 2013, englobando tanto o período chuvoso (março a agosto) quanto o período seco (setembro a fevereiro), sendo coletadas 30 amostras de MP_{10}.

2.2. Extração dos íons

A extração dos íons ocorreu após a otimização do método de extração por banho ultrassônico utilizando um planejamento fatorial completo 2^3 com triplicata do ponto central. As variáveis independentes analisadas no estudo foram: massa (0,1 - 0,3 g), volume de reagente (H_2O ultrapura) (15 – 45 mL) e tempo de sonicação (30 – 60 min), com volume final de 45 mL. Utilizou-se como resposta a função resposta múltipla (R.M.) a partir das concentrações do NO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, Na^+ determinadas. Os resultados do planejamento fatorial completo evidenciaram que as melhores condições experimentais para extração dos íons foram: 0,1 g de amostra, 15 mL de água ultrapura e 30 min de sonicação.

Após a determinação das melhores condições, foram pesados aproximadamente 0,1 g das amostras diretamente em tubos falcon de 50 mL, adicionados 15 mL de água ultrapura, seguido por 30 min de sonicação. Em seguida, os tubos foram retirados do banho de ultrassom e avolumados para 45 mL com água ultrapura. Posteriormente, os extratos foram filtrados com filtro de membrana de 0,45 µm PTFE e armazenados a uma temperatura de 4°C até a realização das análises.

Apesar do método de extração ter sido otimizado considerando as concentrações dos íons NO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+ e Na^+, o presente estudo concentrou-se nos íons NO_3^-, NH_4^+ e SO_4^{2-} por conta da relevância para os processos de acidificação e eutrofização de sistemas aquáticos. Os resultados dos demais íons foram explorados em outro estudo voltado à caracterização da composição iônica e identificação de fontes do material particulado.

2.3. Determinação iônica

A composição iônica do material particulado foi determinada por meio da técnica de cromatografia de íons. As análises foram realizadas no cromatógrafo (Dionex ICS-3000) com detector por condutividade elétrica. As amostras foram transferidas para vials (125 µL), que foram fechados com filtros. Seguidamente foram colocadas no equipamento com tempo de corrida de 32 minutos para cada amostra, com fluxo de 0,350 mL de efluentes por minuto. Ao final da análise foram gerados picos de condutividade referentes aos cátions e ânions presentes nas amostras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Composição atmosférica dos íons SNA e formação de aerossóis secundários

As concentrações dos íons SO_4^{2-}, NO_3^- e NH_4^+ conhecidos como SNA, indicaram forte influência de processos de formação secundária na composição do MP_{10}. Observou-se a predominância do sulfato, seguido pelo nitrato e pelo amônio (Tabela 1), sugerindo uma intensa conversão atmosférica de precursores gasosos vinculados à combustão de combustíveis fósseis.

Tabela 1 – Concentração de íons SNA em amostras de MP_{10} na cidade de Aracaju-SE.

Meses	SO_4^{2-} ($\mu g\ m^{-3}$)	NO_3^- ($\mu g\ m^{-3}$)	NH_4^+ ($\mu g\ m^{-3}$)
Janeiro	0,313 ± 0,38	0,087 ± 0,20	0,017 ± 0,01
Fevereiro	0,251 ± 0,05	0,104 ± 0,32	0,036 ± 0,05
Março	0,161 ± 0,05	0,082 ± 0,63	0,030 ± 0,21
Abril	0,141 ± 0,06	0,403 ± 0,84	0,036 ± 0,006
Maio	0,131 ± 0,02	0,171 ± 3,04	0,065 ± 0,82
Junho	0,093 ± 0,20	0,063 ± 0,46	0,029 ± 0,02
Julho	0,099 ± 0,11	0,058 ± 0,51	0,041 ± 0,19
Agosto	0,110 ± 0,08	0,033 ± 0,43	0,068 ± 0,19
Setembro	0,138 ± 0,004	0,055 ± 0,10	0,114 ± 0,70
Outubro	0,147 ± 0,006	0,064 ± 0,54	0,043 ± 0,34
Novembro	0,108 ± 0,17	0,041 ± 0,16	0,023 ± 0,35
Dezembro	0,171 ± 0,24	0,048 ±0,28	0,047 ± 0,20

Os íons SO_4^{2-} e NO_3^- derivam principalmente da oxidação de dióxido de enxofre (SO_2) e dos óxidos de nitrogênio (NOx), emitidos por fontes antrópicas, associadas principalmente às emissões veiculares (Hopke *et al.* (2020)). Estudos indicam que a formação desses íons acontece principalmente através das conversões secundárias de óxidos de nitrogênio e dióxido de enxofre advindos de processos de combustão (Qu *et al*. (2025)).

A elevada concentração de SO_4^{2-} indica uma maior estabilidade dessa espécie devido a uma menor volatilidade e maior tempo de residência no aerossol. Em regiões urbanizadas e costeiras, altas

porcentagens de umidade favorece a oxidação aquosa do SO_2, intensificando a formação do sulfato secundário (Chianese *et al.* (2022); Han *et al*. (2024)).

O íon NH_4^+ apresentou menores concentrações em relação ao sulfato e ao nitrato, entretanto ele desempenha um papel fundamental na neutralização da acidez atmosférica, reagindo com esses ácidos, formando espécies como o sulfato de amônio ($(NH_4)_2SO_4$) e nitrato de amônio (NH_4NO_3)(An *et al.* (2023); Chianese *et al*. (2022)).

A presença desses íons apresenta efeito ambiental por conta da sua capacidade de alterar a composição química de ecossistemas aquáticos após sua deposição. Essas espécies secundárias sugerem que os impactos do MP_{10} não se limitam apenas a qualidade do ar, mas também afeta os rios, reservatórios e lagos.

3.2. Deposição atmosférica e acidificação de corpos hídricos

A deposição atmosférica de nitrato e sulfato podem acontecer de forma úmida, incorporados nas gotículas de água, ou por deposição seca, através da sedimentação direta sobre o solo e corpos hídricos. Estes íons quando dissolvidos originam ácidos fortes, como ácido nítrico (HNO_3) e ácido sulfúrico (H_2SO_4), reduzindo o pH da água e alterando o equilíbrio químico das superfícies aquáticas. Em estudos realizados em águas da chuva na cidade de São Paulo, o amônio e nitrato mostraram predominância, resultando em um pH médio de 5,39, caracterizando episódios de chuva ácida (Fontenele *et al*. (2009)).

Os resultados obtidos neste estudo reforçam esse potencial de impacto, uma vez que o íon SO_4^{2-} foi predominante e com as maiores concentrações. Essa elevada presença indica a formação secundária na atmosfera e maior potencial de transferência desse composto para os corpos hídricos no entorno da área de estudo, especialmente em eventos de precipitação. A deposição contínua desse composto pode contribuir para alterações na composição química da água (Wu *et al*. (2025)).

Além da deposição úmida, o material particulado pode ser depositado de maneira seca nos sistemas aquáticos. Durante este processo, as partículas atmosféricas contendo amônio, nitrato e sulfato, sedimentam sobre o solo e superfícies, posteriormente sendo carreados pela água da chuva para lagos, rios e reservatórios. Desta maneira, mesmo em períodos de baixa precipitação, o acúmulo contínuo desses compostos pode contribuir para a degradação da qualidade da água.

3.3. Transporte atmosféricos do nitrogênio e eutrofização

O material particulado está vinculado ao nitrogênio atmosférico e representa uma fonte externa de nutrientes para os ecossistemas aquáticos. O transporte e deposição desses compostos nitrogenados contribuem para o enriquecimento nutricional dos corpos hídricos, favorecendo processos como a eutrofização.

O nitrogênio particulado (PN), após sua deposição em reservatórios, é mineralizado em NH_4^+ se tornando biodisponível para organismos como cianobactérias, contribuindo para a proliferação de algas e comprometendo a qualidade da água. A decomposição da matéria orgânica gerada pelas algas amplia o consumo de oxigênio dissolvido, contribuindo para a ocorrência de hipóxia em regiões mais profundas dos reservatórios (Wu *et al*. (2025)).

Embora as concentrações de NH_4^+ tenham sido baixas se comparadas ao SO_4^{2-} e NO_3^-, sua presença indica a existência de compostos nitrogenados com potencial biodisponibilidade após a deposição atmosférica. Desta forma, mesmo as concentrações moderadas podem representar uma fonte adicional de nitrogênio no meio aquático.

A eutrofização causada pela deposição atmosférica do PN, favorece alterações na composição biológica da água, devido a maior disponibilidade do nitrogênio, estimulando o crescimento de espécies produtoras de toxinas e comprometendo o uso dos recursos hídricos (Chianese *et al*. (2022); Wu *et al*. (2025)). No contexto da área estudada, a proximidade entre as fontes emissoras urbanas e os corpos hídricos, a deposição de compostos nitrogenados pode agir como um complemento no aporte de nutrientes, contribuindo para o enriquecimento nutricional e agravamento da eutrofização em sistemas aquáticos.

3.4. Influência meteorológica na dinâmica dos íons SNA

As condições meteorológicas desempenham um papel importante na formação, transporte e deposição dos íons atmosféricos presentes no material particulado (Huang *et al.* (2024)). Na área de estudo, caracterizada pela influência costeira e de emissões urbanas, fatores como a precipitação, umidade relativa e velocidade dos ventos podem modificar a concentração e comportamento dos íons SNA.

Elevadas concentrações de umidade relativa facilitam reações heterogêneas e processos de oxidação aquosa, transformando precursores gasosos em aerossóis secundários, principalmente sulfato e nitrato (Lakra e Avishek (2024)). A predominância do íon SO_4^{2-} observada neste estudo indica a oxidação do SO_2 e consequente formação de SO_4^{2-} em fase aquosa, contribuindo para o aumento da fração iônica no MP_{10}.

A velocidade e direção dos ventos, contribui tanto para dispersão quanto para o transporte de poluentes atmosféricos (An et al. (2023)). Em regiões costeiras, como a área de estudo, os ventos influenciam o transporte de aerossóis marinhos e a mistura entre componentes antrópicos e naturais. Tal mecanismo pode explicar a variabilidade observada nos íons analisados, principalmente associados a processos secundários.

Por outro lado, a precipitação atua na limpeza da atmosfera, promovendo a remoção e deposição úmida desses íons. Durante esse processo, os íons sulfurados e nitrogenados são transportados diretamente para os corpos hídricos, influenciando nas alterações da química da água. Em situações de deposição seca, a precipitação irá promover o carreamento superficial desses compostos acumulados no solo e em superfícies urbanas para lagos, rios e reservatórios.

Desta maneira, percebe-se que as condições meteorológicas influenciam tanto na dinâmica dos SNA, quanto na magnitude dos impactos ambientais vinculados a deposição atmosférica em ambientes aquáticos. Consequentemente, a compreensão dessas variáveis torna-se imprescindível para avaliação dos impactos da poluição atmosférica sobre a qualidade da água.

4. CONCLUSÃO

A poluição do ar é uma fonte externa crítica de nutrientes para corpos hídricos, muitas vezes subestimada em comparação com as fontes fluviais. Os resultados obtidos mostraram que a predominância dos íons sulfato, nitrato e amônio evidencia a forte influência das emissões antrópicas associadas às atividades urbanas, como a combustão de combustíveis fósseis, reforçando o entrelace entre a poluição atmosférica e os impactos em ecossistemas aquáticos.

A atuação das condições meteorológicas influenciou no transporte, formação e deposição dos compostos. A elevada umidade contribuiu para os processos de conversão química em fase aquosa, formando sulfato e nitrato, enquanto a precipitação atuou na remoção e transferência desses íons para lagos, rios e reservatórios através da deposição úmida.

Nota-se que a deposição atmosférica é uma importante fonte de compostos acidificantes e nutrientes para ambientes aquáticos, podendo contribuir para processos de acidificação e eutrofização. O aporte de nitrogênio atmosférico favorece o enriquecimento nutricional e o florescimento de cianobactérias, reduzindo a qualidade da água.

Diante disso, o controle da degradação dos recursos hídricos não deve apenas considerar as fontes fluviais e os lançamentos diretos de poluentes, mas também as emissões atmosféricas dos precursores gasosos (SO_2, NOx, NH_3). Estratégias conjuntas de monitoramento e gestão ambiental

tornam-se essenciais para diminuir os impactos da deposição atmosférica sobre reservatórios e demais corpos hídricos, contribuindo para a preservação da qualidade da água e para a sustentabilidade ambiental.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Os autores agradecem a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC) e a Administração Estadual do Meio Ambiente (ADEMA) pela coleta das amostras. Os autores agradecem a Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO) pela análise iônica das amostras.

REFERÊNCIAS

AN, Q.; XU, B.; ZHANG, H.; HUO, T.; LI, X.; TAO, H.; WANG, H. (2023). "*Characteristics of Water-Soluble Inorganic Ions and their Impacts on PM2.5 Pollution Events in Mianyang, Southwest China"*. Polish Journal of Environmental Studies 32 (6), pp. 5483-5494.

BRASIL – Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – NBR 9547. Material particulado em suspensão no ar ambiente – Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume, 1-13, 1997.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 506, de 5 de julho de 2024. Estabelece os padrões nacionais de qualidade do ar e fornece diretrizes para sua aplicação. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jul. 2024. Seção 1, p. 133.

CHIANESE, E.; TIRIBERIO, G.; DINOI, A.; CESARI, D.; CONTINI, D.; BONASONI, P.; MARINONI, A.; ANDREOLI, V.; MANNARINO, V.; MORETTI, S.; NACCARATO, A.; SPROVIERI, F.; AMMOSCATO, I.; CALIDONNA, C.R.; GULLI, D.; RICCIO, A. (2022*). "Particulate Matter Ionic and Elemental Composition during the Winter Season: A Comparative Study among Rural, Urban and Remote Sites in Southern Italy"*. Atmosphere 13 (2).

FONTENELE, A.P.G.; PEDROTTI, J.J.; FORNARO, A. (2009). "*Avaliação de metais traços e íons majoritários em águas de chuva na cidade de São Paulo*". Química Nova 32 (4), pp. 839-844.

GUO, Q.; KUI, C.; GUOJIE, X. (2023). "*Characteristics and Sources of Water-Soluble Inorganic Ions in PM2.5 in Urban Nanjing, China"*. Atmosphere 14 (1).

HAN, G.; HE, M.; DU, Z.; WEI, N.; LUO, H. (2024). "*Characterization and source apportionment of water-soluble ion pollution in PM10 of typical cities in northern China"*. IScience 27.

HOPKE, P.K.; DAI, Q.; LI, L.; FENG, Y. (2020). "*Global review of recent source apportionments for airborne particulate matter".* Science of Total Environment 740.

HUANG, A.; CHENG, W.; CHU, M.; WANG, G.; YANG, H.; ZHANG, L. (2024). "*A comprehensive attribution analysis of PM2.5 in typical industrial cities during the winter of 2016–2018: Effect of meteorology and emission reduction*". Atmospheric Research 299.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Cidades: Aracaju – SE: panorama*. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/se/aracaju/panorama. Acesso em: 8 abr. 2025.

LAKRA, K.; AVISHEK, K. (2024). "*Influence of meteorological variables and air pollutants on fog/smog formation in seven major cities of Indo-Gangetic Plain"*. Environmental Monitoring and Assessment 196 (533)

QU, Y.; YANG, J.; LIU, X.; CHEN, Y.; RAN, H.; AN, J.; YANG, F. (2025). "*Analysis of chemical composition and sources of PM10 in the southern gateway of Beijing"*. Atmosphere 16 (656)

WU, D.; CHEN, J.; BAO, H.; SHI, L.; ZHANG, Z.; RAN, G.; LI, Y.; ZENG, Y. (2025). "*Nitrogen release potential and ecological environmental effects during particulate matter deposition in sub-deep reservoirs of Southwest China"*. Journal of Hydrology: Regional Studies 60.

ZHEN, S.; LUO, M.; XIN, F.; MA, L.; XU, D.; CHENG, X.; SHAO, Y. (2025). "*Chemical composition, source distribution and health risk assessment of PM2.5 and PM10 in Beijing"*. Atmosphere Pollutant Research 16.