

DEPOSIÇÃO ATMOSFÉRICA DE NITROGÊNIO REATIVO SOBRE O ESTADO DE SÃO PAULO - BRASIL

Mariana de Almeida Souza^[1], Felipe Siqueira Pacheco^[2], Janusa A. de Léo Palandi^[2], Jean P. H. B. Ometto^[2], Maria Cristina Forti^[2], João Andrade de Carvalho Junior^[1].

[1] Universidade Estadual Paulista – UNESP.

[2] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

RESUMO: O nitrogênio (N) é um elemento fundamental para os seres vivos; contudo, o N disponível biologicamente é aquele conhecido como nitrogênio reativo (Nr). O presente trabalho propõe quantificar e analisar a variabilidade espacial da deposição atmosférica seca de Nr no estado de São Paulo, através de sua fase gasosa (HNO₃; NH₃; NO₂) e particulada (NO₃⁻; NH₄⁺). Amostradores de coleta por Denuder (DELTA) foram distribuídos espacialmente em seis sítios de amostragem, abrangendo diferentes tipos de cobertura do solo e urbanização. As amostras foram coletadas ao longo de dois anos (2015-2017). A deposição média de Nr seco no Estado de São Paulo foi de 8,9 kgN ha⁻¹ ano⁻¹. A maior deposição média de Nr foi encontrada no sudeste do Estado. Considerando a região onde a Mata Atlântica está localizada, este trabalho mostra que a deposição total de Nr seco por si só (sem considerar a deposição de espécies úmidas ou orgânicas) excedeu a carga crítica de Nr sugerida para a maioria das florestas do mundo.

Palavras-chave: Nitrogênio reativo; Deposição atmosférica; Deposição seca de nitrogênio.

ABSTRACT: Nitrogen (N) is a fundamental element for living beings; however, the biologically available N is known as reactive nitrogen (Nr). The current work proposes to quantify and analyze the spatial variability of the dry atmospheric deposition of reactive nitrogen in the state of São Paulo, through its gas phase (HNO₃; NH₃; NO₂) and particulate phase (NO₃⁻; NH₄⁺). Denuder collection samplers (DELTA) were spatially distributed in six sampling sites, covering different types of ground cover and urbanization. The samples were collected over two years (2015-2017). The average of dry Nr deposition in the State of São Paulo was 8.9 kgN ha⁻¹ year⁻¹. The highest average deposition of Nr was found in the southeastern of state. Considering the region where the Atlantic Forest is located, this work shows that the total deposition of dry Nr by itself (without considering the deposition of wet or organic species) exceeded the critical load of Nr suggested for most of the world's forests.

Keywords: Nitrogen; Atmospheric deposition; Dry nitrogen deposition.

INTRODUÇÃO

A deposição de nitrogênio reativo (Nr) atmosférico pode influenciar processos biogeoquímicos, afetando vários aspectos ambientais, como clima, qualidade do ar, concentração de nutrientes no solo e na água (EUGSTER; HAENI, 2013). Após a intensificação das atividades humanas no século passado, a mobilidade e a deposição atmosférica de formas reativas de nitrogênio aumentaram drasticamente (GALLOWAY; ABER; ERISMAN; SEITZINGER *et al.*, 2003). Portanto, essa deposição excessiva de Nr pode alterar ecossistemas florestais e, possivelmente, acelerar o processo de eutrofização nos sistemas terrestres e aquáticos (ABER; GOODALE; OLLINGER; SMITH *et al.*, 2003). Sendo assim, o presente trabalho propõe uma quantificação da deposição seca atmosférica de Nr (HNO_3 ; NH_3 ; NO_2 ; NO_3^- ; NH_4^+) no estado de São Paulo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Programa de amostragem e Sistema de coleta

As amostragens foram realizadas em 6 sítios escolhidos de acordo com as diferentes coberturas de uso do solo no Estado de São Paulo, considerando as características locais de áreas urbanas, rurais e florestais, para o período de 2015-2017. O sistema DELTA (amostragem por denuder), compreende cilindros de vidro (denuder), para amostragem dos gases de interesse, seguidos por um suporte contendo um par de filtros empilhados, para reter o MP presente na corrente de ar. Os dois primeiros denuderes são utilizados para capturar HNO_3 , e os outros dois capturam o NH_3 . O MP (NO_3^- ; NH_4^+) contido na corrente de ar que atravessa os denuderes é depositado sobre os filtros. As análises das amostras foram feitas através da técnica de cromatografia líquida de íons.

Cálculo da deposição e cobertura do solo e modelagem espacial

A deposição seca de Nr foi calculada multiplicando os dados interpolados de concentração de Nr na atmosfera e a velocidade de deposição (Vd). Neste estudo, Vd para formas gasosas foi obtida para cada uso e cobertura do solo de acordo com a parametrização descrita por ZHANG; BROOK e VET (2003) para cada cobertura e uso da terra. E a Vd para o MP foi estimada considerando duas faixas de tamanho de partícula, isto é, $< 2,5 \mu\text{m}$ ($\text{MP}_{2,5}$) e de $2,5$ a $10 \mu\text{m}$ (MP_{10}). O método do inverso do quadrado da distância foi usado para interpolar a concentração de Nr na atmosfera e criar um mapa de grade no *software* ArcGIS (v10.2, ESRI).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Distribuição espacial da deposição anual de Nr

Em todas as regiões, a deposição da forma particulada de Nr foi menor que as formas gasosas (figura 2). Entre as três regiões, o Sudeste teve a maior deposição média de NO_2 , dada a ocupação predominante do solo por áreas urbanas e florestas. As regiões Nordeste e Oeste apresentaram valores de deposição de NH_3 próximos aos da região mais urbanizada (SE), o que pode ser explicado pelas atividades agrícolas e pecuárias realizadas nessas regiões. Grandes quantidades de fertilizantes nitrogenados (principalmente ureia) são aplicados em plantações, compostas principalmente por cana-de-açúcar e, portanto, aumentam a emissão direta de NH_3 (MARTINELLI; FILOSO, 2008). A deposição anual de Nr nessas regiões apresenta maior variabilidade no Estado de São Paulo, como mostrado na figura 3. A região oeste também apresenta valores significativos da deposição de NH_3 , devido à sua notável ocupação do solo por pastagens.

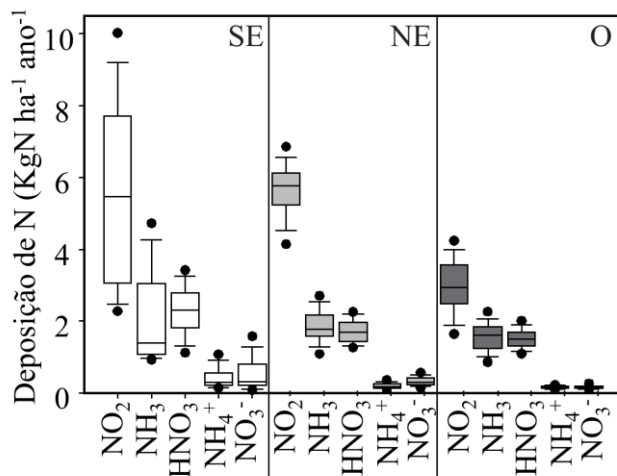


Figura 1 - Comparação da deposição seca de Nr ($\text{kgN ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) entre as três regiões do estado de São Paulo. O conjunto de dados foi extraído dos mapas de deposição de Nr. Os pontos pretos indicam os percentis 5 e 95. SE = Sudeste; NE = Nordeste; O = região oeste.

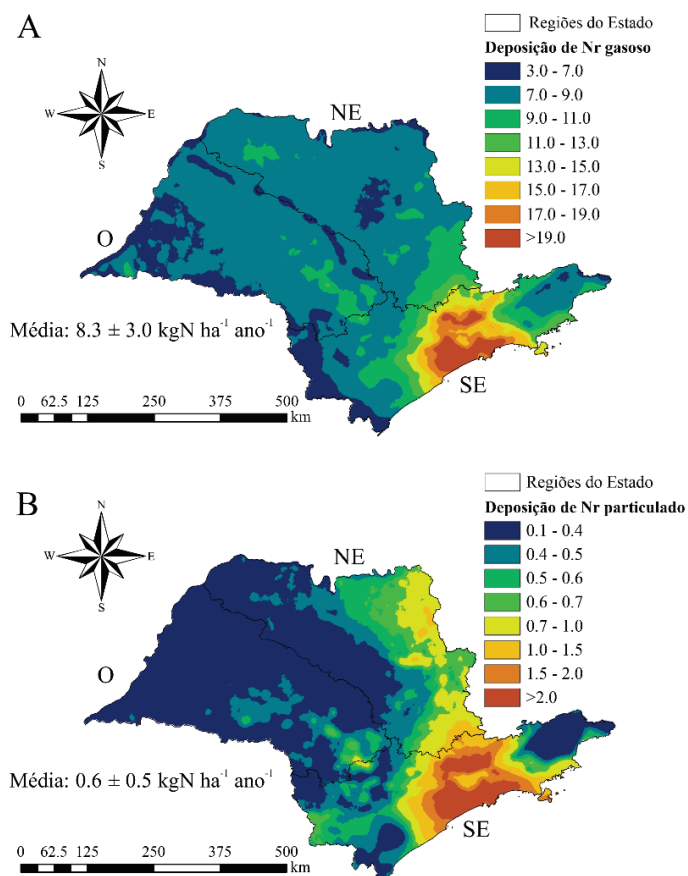


Figura 32 - Mapas da deposição seca gasosa espacial de Nr (A) e da deposição seca de Nr particulado (B) no estado de São Paulo ($\text{kgN ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$). As linhas pretas indicam a fronteira das três regiões, que se distingue pelas características de uso e cobertura da terra, SE = Sudeste; NE = Nordeste; O = região oeste.

A distribuição espacial da deposição anual de Nr gasoso e particulado ($\text{kgN ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) variou de 3,2 a 21,3 e de 0,1 a 3,5, respectivamente (figura 3). Existe um padrão espacial geral de deposição de Nr, no qual é possível observar uma diminuição dos valores da região sudeste em direção à região oeste do estado. Valores mais baixos para deposição de gases foram observados na região central do estado, enquanto o menor valor para deposição de partículas foi observado na região oeste do estado. Os altos valores observados para deposição de Nr gasoso e particulado na região sul do estado de São Paulo estão ligados às altas emissões de Nr na região metropolitana da cidade de São Paulo (como tráfego intenso, emissões industriais e gerenciamento de água), e a alta velocidade de deposição associada às características da superfície do solo (por exemplo, rugosidade) de floresta densa localizada na Serra do Mar. Os valores médios observados na região sul de São Paulo são mais altos que o limite mais alto do valor da carga crítica (cerca de $24,8 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a região onde a Mata Atlântica está localizada, este trabalho mostra que a deposição total de Nr seco por si só (sem considerar a deposição úmida) excedeu a carga crítica de Nr sugerida para a maioria das florestas do mundo, implicando, portanto, que as atividades humanas nas áreas circundantes afetam a integridade da biodiversidade de uma das regiões mais importantes da América do Sul.

INSTITUIÇÃO FINANCIADORA E AGRADECIMENTOS

Este estudo foi apoiado pelo Inter-American Institute for Climate Change Research (IAI; projeto CRN3005 Nnet) e International Nitrogen Management System (INMS). Agradecemos ao Laboratório de Pesquisa em Geoquímica Ambiental do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (LAPBio / INPE) pela análise das amostras. Agradecemos também aos projetos FAPESP 2012 / 06416-1 e 2018 / 16554-9, ao Programa PCI do MCTIC e aos colaboradores.

REFERÊNCIAS

- ABER, J. D.; GOODALE, C. L.; OLLINGER, S. V.; SMITH, M.-L. *et al.* Is Nitrogen Deposition Altering the Nitrogen Status of Northeastern Forests? **BioScience**, 53, n. 4, p. 375-389, 2003.
- EUGSTER, W.; HAENI, M. Chapter 3 - Nutrients or Pollutants? Nitrogen Deposition to European Forests. *In: MATYSSEK, R.; CLARKE, N., et al (Ed.). **Developments in Environmental Science**: Elsevier, 2013. v. 13, p. 37-56.*
- GALLOWAY, J. N.; ABER, J. D.; ERISMAN, J. W.; SEITZINGER, S. P. *et al.* The Nitrogen Cascade. **BioScience**, 53, n. 4, p. 341-356, 2003.
- MARTINELLI, L. A.; FILOSO, S. Expansion of sugarcane ethanol production in Brazil: Environmental and social challenges. **Ecological Applications**, 18, n. 4, p. 885-898, 2008.
- ZHANG, L.; BROOK, J. R.; VET, R. A revised parameterization for gaseous dry deposition in air-quality models. **Atmos. Chem. Phys.**, 3, n. 6, p. 2067-2082, 2003.