

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos

Renata Constant de Amorim Lemos

**PRESENÇA DE ALUMÍNIO EM AVES SILVESTRES DE SUB-BOSQUE
EM DIFERENTES FRAGMENTOS DE MATA ATLÂNTICA**

MACEIÓ-ALAGOAS
Agosto de 2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos

Renata Constant de Amorim Lemos

**METAIS NÃO ESSENCIAIS EM AVES SILVESTRES DE SUB-BOSQUE EM
DIFERENTES FRAGMENTOS DE MATA ATLÂNTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos trópicos do Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de Alagoas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas na área de concentração em Conservação e Biodiversidade Tropical.

Orientador (a): Dr. Márcio Amorim Efe

Coorientador (a): Dr. Daniela Santos Anunciação

MACEIÓ-ALAGOAS

Agosto de 2023

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária: Betânia Almeida dos Santos– CRB-4 – 1542

L557p Lemos, Renata Constant de Amorim.

Presença de alumínio em aves silvestres de sub-bosque em diferentes fragmentos de Mata Atlântica / Renata Constant de Amorim Lemos. – 2023. 60 f. : il. color.

Orientador: Márcio Amorim Efe.

Coorientadora: Daniela Santos Anunciação.

Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde. Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos. Maceió, 2023.

Inclui bibliografias.

1. Mata Atlântica – conservação e áreas protegidas. 2. Aves florestais – espécies ameaçadas. 3. Aves florestais – habitat contaminado. 4. Aves florestais – contaminação – alumínio. 5. Metais pesados. I. Título.

CDU: 598.2 : 549.521.4

À minha mãe, Rosa Francyne Constant de A. Lemos

Ao meu pai, Miguel Gitahi Lemos Neto

Ao meu psiquiatra Dr. Denis Xavier.

Ao Deus Altíssimo.

Porque dEle, para Ele e por Ele são todas as coisas.

A Ele seja a Glória para sempre, amém. (Romanos:11)

Dedico.

Agradecimentos

O meu primeiro agradecimento é ao meu Senhor, que me fez subir como águia e planar sobre as circunstâncias da minha vida.

Ao meus pais, Francyne e Miguel, por todo sacrifício que fizeram por mim durante toda a minha jornada como estudante e como ser humano. Eu não sou ninguém sem vocês.

Ao meu amado psiquiatra, Dr. Denis Xavier, que me adotou como um pai, tornando possível essa caminhada através de seus cuidados, me aconselhando com amor e sendo um dos meus maiores incentivadores, amo você.

A minhas irmãs, Raphaella e Fernanda, vocês são minha luz, cada uma com seu jeito de demonstrar amor, vibrando com meus avanços e me ajudando nas tomadas de decisões. Somos um cordão de três dobras.

A minha amiga irmã Paulinha por ter sempre uma palavra de incentivo, amor e por acreditar em mim muitas vezes mais do que eu mesma.

A minha pequena companheira Malika, que esteve sempre ao meu lado nas aulas, nos dias incansáveis de trabalho, nas noites em claro e até mesmo agora enquanto escrevo.

Ao meu querido orientador Dr. Márcio Amorim Efe, que desde 2012 tem me acompanhado e enriquecido meu caminho para me tornar uma cientista. Obrigada pela paciência e por não desistir de mim.

A minha coorientadora Dr. Daniela Santos Anunciação pela parceria indispensável nesse projeto.

Aos meus colegas do LABECAN por estarem presentes nos campos e por compartilharem suas experiências junto a mim, principalmente minha querida Mó (Morgana) por ser meu ponto de segurança desde a graduação.

Ao CNPq pela bolsa concedida durante o mestrado.

Ao SISBIO e CEUA por concederem as autorizações necessárias para que esse trabalho pudesse se realizar.

A Universidade Federal de Alagoas por me proporcionar oportunidades únicas para o meu fortalecimento profissional.

Ao Programa de Pós-graduação em Diversidade Biológicas e Conservação no Trópicos, aos meus professores pelos ensinamentos e ao Colegiado por ter me acolhido.

Por fim, sou imensamente grata por todos que encontrei nesse caminho, por quem saiu e por quem chegou, pois todas as coisas cooperam para o bem daqueles que amam a Deus (Romanos 8:28).

“Me faz subir, qual águia que voa
Me faz planar sobre as circunstâncias
Minha confiança está só em Ti
Só em Ti, meu fiel Senhor”

(Ministério Koinonya de Louvor)

RESUMO

A Mata Atlântica ao norte do Rio São Francisco, conhecida como Centro Pernambuco de Endemismo, é a área mais crítica do bioma principalmente pela fragmentação causada expansão agropecuária. No processo de produção de álcool e açúcar e adubação de pastagens agrícolas faz-se necessário a utilização de fertilizantes que podem possuir metais, dentre eles o alumínio (Al), em sua composição e contaminar os ambientes e sua fauna, sendo persistentes no ambiente podendo acumular-se em diferentes níveis das cadeias alimentares expondo os organismos a diversos tipos de prejuízos. Dentre organismos que podem sofrer com essa contaminação estão as aves, as quais apresentam hábitos alimentares específicos, capacidade de realizar grandes deslocamentos, possuir alta sensibilidade e baixos níveis de enzimas detoxificantes. A conjunção entre o habitat contaminado e fragmentado coloca em risco as espécies mais sensíveis podendo funcionar como uma armadilha ecológica. Assim, espera-se que as aves florestais que habitam fragmentos cercados por canaviais apresentem algum nível de contaminação por alumínio e estejam submetidas a uma armadilha ecológica. Assim, este trabalho buscou identificar, através do uso de penas, de aves silvestres de sub-bosque estão contaminadas pelo metal não essencial, alumínio, potencialmente tóxico advindos de lavouras de cana-de-açúcar e pastagens agrícolas e se os espaços contaminados podem ser considerados armadilhas ecológicas para as populações desses fragmentos, principalmente os pertencentes a guilda insetívora. O estudo foi realizado, entre setembro de 2021 e outubro de 2022, em três fragmentos de Mata Atlântica protegidos do Centro Pernambuco de Endemismo (CPE) em Alagoas sendo dois cercados por lavouras de cana-de-açúcar e um por pastagem. Para análise foram coletadas 10 penas do peito de aves florestais de sub-bosque e agrupadas por data e local. As amostras foram maceradas, liofilizadas, pesadas, armazenadas em dessecador, digeridas em forno micro-ondas e analisadas através da espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado para determinar as concentrações de alumínio (Al). Nosso estudo detectou a presença de alumínio em todas as amostras. Em datas de períodos secos, aves da espécie *Schiffornis turdina* da Estação Ecológica de Murici apresentaram concentração de alumínio muito superior às aves da mesma espécie da Mata do Cedro. Além disso, as concentrações de alumínio foram mais altas em setembro na avifauna da RPPN Mata do Matão. Os resultados mostraram necessidade de atenção às áreas de estudo que evidenciaram níveis de contaminação por alumínio, as quais podem estar funcionando como armadilhas ecológicas.

Palavras-chave: áreas protegidas, contaminantes, metais pesados, espécies ameaçadas.

ABSTRACT

The Atlantic Forest north of the São Francisco River, known as the Pernambuco Endemism Center, is the most critical area of the biome, mainly due to the fragmentation caused by agricultural expansion. In the process of producing alcohol and sugar and fertilizing agricultural pastures, it is necessary to use fertilizers that may have metals, including aluminum, in their composition and contaminate the environments and their fauna, being persistent in the environment and being able to accumulate at different levels of the food chain, exposing organisms to various types of damage. Among organisms that can suffer from this contamination are birds, which have specific eating habits, the ability to carry out large displacements, have high sensitivity and low levels of detoxifying enzymes. The combination of contaminated and fragmented habitat puts the most sensitive species at risk and can function as an ecological trap. Thus, it is expected that forest birds that inhabit fragments surrounded by sugarcane plantations present some level of contamination by non-essential metals and are trapped in an ecological trap. Thus, this work sought to identify, using feathers, whether wild understory birds are contaminated by aluminum potentially toxic from sugarcane crops and agricultural pastures and whether contaminated spaces can be considered ecological traps for the populations of these fragments, mainly those belonging to the insectivorous guild. The study was carried out, between September 2021 and October 2022, in three fragments of Atlantic Forest protected by the Centro Pernambuco de Endemismo (CPE) in Alagoas, two surrounded by sugarcane plantations and one by pasture. For analysis, 10 breast feathers of understory forest birds were collected and grouped by date and location. The samples were macerated, lyophilized, weighed, stored in a desiccator, digested in a microwave oven and analyzed using optical emission spectrometry with inductively coupled plasma to determine the concentrations of aluminum (Al). Our study detected the presence of aluminum in all samples. On dry periods, birds of the species *Schiffornis turdina* from the Murici Ecological Station showed much higher aluminum concentrations than birds of the same species from Mata do Cedro. Furthermore, aluminum concentrations were much higher in September in the avifauna of RPPN Mata do Matão. The results showed the need for attention to the study areas that showed levels of aluminum contamination, which may be working as ecological traps.

Keywords: protected areas, contaminants, heavy metals, endangered species.

LISTA DE FIGURAS

APRESENTAÇÃO

Figura 1. <i>Leptodon forbesi</i> . Autor da imagem: Alan Costa.....	20
Figura 2. <i>Momotus momota</i> . Autor da imagem: Alan Costa.....	21
Figura 3. <i>Myrmotherula snowi</i> . Autor da imagem: Ester Ramirez.....	21
Figura 4. <i>Terenura sicki</i> . Autor da imagem: Marco Guedes.....	21
Figura 5. <i>Platyrrhincus leucoryphus</i> . Autor da imagem: Kakau Oliveira.....	22

MANUSCRITO

Figura 1. Localização dos fragmentos estudados inseridos no Centro Pernambuco de Endemismo.....	34
Figura 2. Linhas ornitológicas colocadas à 300 metros da borda da Mata do Matão.....	35
Figura 3. Níveis de alumínio (Al) encontrados em amostras de penas de <i>Schiffornis turdina</i> em datas de períodos secos no fragmento de Murici em setembro de 2021 e Mata do Cedro em outubro de 2022.....	37
Figura 4. Níveis de alumínio (Al) encontrados em amostras de penas de aves florestais de sub-bosque em fragmentos de Mata Atlântica do Centro Pernambuco de Endemismo em Alagoas, Brasil em datas dos períodos secos e chuvosos no fragmento Mata do Matão em agosto de 2021, outubro de 2021 e fevereiro de 2022.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Montagem das amostras para análise espectrométrica reunindo as penas das espécies por local e data e concentrações de alumínio (AL) encontradas em penas de aves florestais de sub-bosque em fragmentos de Mata Atlântica do Centro Pernambuco de Endemismo em Alagoas, Brasil.....	35
--	-----------

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPE- Centro Pernambuco de Endemismo

CEUA- Comitê de Ética no Uso de Animais

DDE- Dicloro-difenil-dicloroetileno

DDT- Dicloro-Difenil-Tricloroetano

ESEC- Estação Ecológica

ICMBio- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

IBAMA- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IUCN- União internacional para a Conservação da Natureza

MMA- Ministério do Meio Ambiente

OCPs- pesticidas organoclorados

PBDEs- éteres -difenílicos- polibromados

PCBs- bifenilas policloradas

pH- potencial hidrogeniônico

RPPN- Reserva Particular do Patrimônio Natural

SISBIO- Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade

SUMÁRIO

1. Apresentação.....	13
1.1 Referências bibliográficas.....	15
2. Revisão da Literatura.....	17
2.1 Metais não essenciais e fertilizantes minerais.....	17
2.2 Mata Atlântica e o Centro Pernambuco de Endemismo.....	19
2.3 Aves e contaminação ambiental.....	22
2.4 O papel do inseto na alimentação das aves e a possibilidade de serem vetores de compostos contaminantes.....	25
2.5 Armadilhas ecológicas.....	26
2.6 O uso de penas para identificar a presença de compostos contaminantes.....	27
3.Referências bibliográficas.....	27
4. Manuscrito.....	31
4.1 Introdução.....	32
4.2 Métodos.....	33
4.3 Resultados.....	35
4.4 Discussão.....	37
4.5 Conclusão.....	39
4.6 Referências bibliográficas.....	40
5. Material complementar.....	44

1 APRESENTAÇÃO

A Mata Atlântica é considerada um *Hotspot* mundial (MYERS 2000) apresentando um alto índice de biodiversidade e endemismo. No entanto, é um dos biomas brasileiros mais ameaçados por causa da devastação florestal (TABARELLI et al. 2004; TABARELLI et al. 2006). Em especial, a Mata Atlântica ao norte do Rio São Francisco, conhecida como Centro Pernambuco de Endemismo (BROWN 1982; PRANCE 1982; SILVA & CASTELETTI 2003) é considerada uma das áreas mais importante para a conservação de aves do Brasil por abrigar grande número de espécies ameaçadas de extinção (BROOKS & RYLAND 2003, SILVEIRA et al. 2003; BRASIL, 2014; IUCN, 2021), bem como mais de 2/3 (434 espécies) de todas as aves que ocorrem na floresta Atlântica brasileira (RODA 2003), tornando o Centro Pernambuco de Endemismo uma das regiões do planeta que onde os esforços de conservação são mais urgentes (PAGLIA et al 2004).

O Centro Pernambuco compreende um bloco de floresta costeira, antigamente contínua e com extensão original de 56.400 quilômetros quadrados, ocorrendo entre os Estados de Alagoas e do Rio Grande do Norte (PÔRTO et al., 2005). Atualmente, a área restante está representada por pequenos fragmentos florestais imersos em matrizes urbanas e agrícolas. (SILVA & TABARELLI 2000) é a área mais crítica do bioma principalmente pela devastação causada pela expansão da pecuária e cana-de-açúcar (DEAN 1996; COIMBRA-FILHO & CÂMARA 1996; ASSIS 1998).

No processo de produção de açúcar e álcool, faz-se necessário a utilização de fertilizantes que podem possuir metais em sua composição e contaminar os ambientes e sua fauna, sendo persistentes no ambiente podendo acumular-se em diferentes níveis da cadeia alimentar (KOJADINOVIC et al. 2007), com grande potencial de poluição ambiental, causando impactos nos ecossistemas (SALVAGNI 2013) e expondo os organismos a diversos tipos de prejuízos. As práticas de manejo de pastagens também são uma ameaça, visto que são realizadas principalmente fazendo uso de meios que ocasionam prejuízos ao meio ambiente, como o desmatamento, as queimadas, o uso e ocupação do solo, métodos que vem sendo utilizados a várias gerações (GELAIN et al., 2012). O desmatamento e as queimadas também são etapas para a implantação de pastagem que ocasionam impactos ambientais negativos e a degradação do ambiente natural, como a

perda de nutrientes do solo, erosão e redução da biodiversidade (MARTINS *et al.*, 2017).

Diante disso, entre os organismos que podem sofrer com essa contaminação estão as aves, as quais apresentam hábitos alimentares específicos, capacidade de realizar deslocamentos, possuem grande sensibilidade e baixos níveis de enzimas detoxificantes (GRUE *et al.*, 1984; PARKER *et al.*, 2000; VALDES 2007).

Geralmente, a principal via de contaminação das aves é através da alimentação (BURGER *et al.*, 2014; BURGER *et al.*, 2015; BURGER *et al.*, 2002) sendo possível avaliar o nível desta contaminação através da plumagem neste grupo (IRENA *et al.*, 2017; KITOWSKI *et al.*, 2017), uma vez que durante o processo de muda, os metais presentes no sangue se acumulam na pena (HOFER *et al.*, 2010). A exposição das aves a esses metais, seja aguda ou crônica, pode afetar sua fisiologia, comportamento, capacidade de resistir a doenças e altas taxas de mutação (BICKHAM *et al.*, 2000). Embora anteriormente tenha havido preferência em utilizar apenas espécies de topo de cadeia como bioindicadores de contaminação ambiental, o monitoramento de espécies do estrato inferior nas guildas tróficas, como aves insetívoras, tem mostrado que elas também são valiosas quando usadas como sentinelas para determinar contaminação por poluentes (BRUM *et al.* 2020).

O fato de algumas espécies de insetos apresentarem boa capacidade de resiliência à presença de metais não essenciais (KAGATA & OHGUSHI, 2011), aqueles presentes em lavouras de cana-de-açúcar e nos fragmentos no seu entorno podem conectar os dois ambientes e funcionar como armadilhas ecológicas para aves insetívoras. Vale ressaltar que os estudos no Brasil sobre presença de metais não essenciais em aves ainda são escassos, dificultando a elaboração de medidas e a análise dos impactos que as populações de aves podem sofrer (SILVA 2016).

Diante disto, o primeiro capítulo dessa dissertação trás uma revisão bibliográfica que permite ao leitor uma contextualização sobre os principais temas abordados. O segundo capítulo, escrito em forma de artigo científico, pretende de forma exploratória identificar através da análise de penas, se aves silvestres de sub-bosque estão contaminadas por alumínio (Al) advindo de lavouras de cana-de-açúcar e pastagens agrícolas e, se os espaços contaminados podem ser considerados armadilhas ecológicas.

1.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, J.S. de. **Razões e ramificações do desmatamento em Alagoas**. In: DINIZ, J.A.F.; FRANÇA, V.L.A. (Org.). Capítulos de geografia nordestina. Aracaju: NBGEO-UFS. p. 325-355, Recife-PE 1998.
- BICKHAM, JW *et al.*: implications for biomonitoring and ecotoxicology. **Mutation Research**, V 463, pp 35-51, december 2000.
- BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente – MMA**. Portarias nº 444 e nº 445, de 18 de dezembro de 2014. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, Seção 1, pp. 121-130, 2014.
- BROOKS, T.; RYLANDS, A.B. **Species on the brink**: critically endangered terrestrial vertebrates. In Galindo-Leal, C.; Câmara, I.G. (eds). The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, threats, and outlook. pp. 360-371. Washington, DC. (2003)
- BROWN, K. S. Historical and ecological factors in the biogeography of aposematic neotropical butterflies. **American Zoologist**. Ed. Oxford University Press Vo 22: pp 453–471, São Paulo-SP, 1982.
- BRUM, R. B *et al.* Temporal analysis of the use of birds, as environmental sentinels in the monitoring of contamination by pesticides. Mato Grosso. **Research, Society and Development**, junho de 2020.
- BURGER, J. Differences in the food chain affect heavy metals in poultry eggs in Barnegat Bay, New Jersey. **Environmental Research**, v 1, n 1, pp 33-39, September 2002.
- BURGER, J. *et al.* Metals in tissues of migrant semipalmated sandpipers (*Calidris pusilla*) from Delaware Bay, New Jersey. **Environmental Research**, v133, pp 362-370, junho de 2014.
- BURGER, J. *et al.* Mercury, Lead, Cadmium, Arsenic, Chromium and Selenium in feathers of Shorebirds during Migrating through Delaware Bay, New Jersey: Comparing the and the 1990s and 2011-202. **Toxic**, v 3, n1, pp 63-74, March 2015.
- COIMBRA-FILHO, A. e CÂMARA, I. G. **Os limites originais do bioma Mata Atlântica na região nordeste do Brasil**. Rio de Janeiro: Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza, Ed FBCN, Rio de Janeiro, 1996.
- DEAN, W. **A ferro e fogo**: a história e a devastação da mata atlântica brasileira. Companhia das Letras 1 ed. p 484, São Paulo-SP, 1996.
- GELAIN, A.J. *et al.* Desmatamento no Brasil: um Problema Ambiental. **Revista Capital Científico**, Guarapuava – PR, 15 de junho de 2012. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/capitalcientifico/article/view/1110/1725> acesso em 6 de junho de 2022.
- GRUE, C.E; SHIPLEY, B.K. Sensitivity of nestling and adult Starling to dicofthos, na organophosphate pesticide. **Environmental Research**. New York n.2, p. 454-465, December 1984.
- HOFER, C.; GALLAGHER, F. J.; HOLZAPFEL, C. Metal accumulation and performance of nestlings of passerine bird species at an urban brownfield site. **Environmental Pollution**, v. 158, n. 5, pp 1207–1213, May 2010.
- IUCN. International Union for Conservation of Nature (2021). **Red List**. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/>. Acesso em 13 de março de 2022.
- IRENA, H.A. *et al.* Allocation of Metals and Trace Elements in Different Tissues of Piscivorous Species *Phalacrocorax carbo*. **Archives of environmental contamination and toxicology**, v 73(4), pp 533-541, November 2017.
- KAGATA, H; OHGUSHI, T. Positive and negative impacts of insect frass quality on soil nitrogen availability and plant growth. **Population Ecology**, v 54, pp 75–82, January 2012.

- KITOWSKI, I. *et al.* Factors affecting element concentrations in eggshells of three sympatric ally nesting waterbirds in northern Poland. **Archives of environmental contamination and toxicology**, v 74, n 2, pp 318-329, November 2017.
- KOJADINOVIC, J. *et al.* Trace Elements in Three Marine Birds Breeding on Reunion Island (Western Indian Ocean): Part 1 - Factors Influencing Their Bioaccumulation. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v. 52, n. 3, p. 418–430, September 2007.
- MARTINS, A.P.F. *et al.* Estudo de impactos ambientais na comunidade quilombola Serra Feia - Cacimbas, PB. **ACSA**, v. 13, n.2, p. 121-129, November 2017.
- MYERS, N *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853, fevereiro 24, 2000.
- OLIVEIRA, Emídio, C.A. **Dinâmica os nutrientes em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena**. p 84. Dissertação de mestrado em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.
- PARKER, M. L.; GOLDSTEIN, M. I. Differential toxicities of organophosphate and carbamate insecticides in the nestling European starling (*Sturnus vulgaris*). **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v39, pp 233-242, August 2000.
- PRANCE, G. T. Forest refuges: evidence from woody angiosperms. In: Prance, G. T. (ed.) **Biological diversification in the tropics**. New York: Columbia University Press, v 31 p. 22, December (1982).
- PAGLIA, A. *et al.* **Lacunas de conservação e áreas insubstituíveis para vertebrados ameaçados da Mata Atlântica**. pp. 39-50. In Anais do IV Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação. Vol. II – Seminários. Fundação O Boticário de Proteção à Natureza e Rede Pró-Unidades de Conservação. Curitiba, 2004.
- PÔRTO, K.; ALMEIDA Cortez, J.S.; TABARELLI, M. Diversidade biológica e conservação da floresta Atlântica ao norte do Rio São Francisco. Brasília: Coleção Biodiversidade. **Ministério do Meio Ambiente**, Brasília-DF, 2005.
- RODA, Sônia Aline. **Aves de florestas do Centro de Endemismo Pernambuco: composição, vulnerabilidade e conservação**. Tese de Doutorado em Ciências Biológicas. Universidade Federal do Pará e Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém 2003.
- SALVAGNI, Thamara. **Metais não essenciais em tecidos de *Puffinus puffinus* e *Puffinus gravis* (Aves Procellariiformes) no litoral norte e médio leste do Rio Grande do Sul, Brasil**. p 69. Trabalho de Conclusão de Curso de bacharelado em Ciências Biológicas- Universidade do Rio Grande do Sul, Imbé- RS, 2013.
- SILVA, J.M.C.; TABARELLI, M. Tree species impoverishment and the future flora of the Atlantic Forest of northeast Brazil. **Nature** v 404: pp72-74, March 2000.
- SILVA, J. M. C. e C. H. M. CASTELLETTI. **Status of the biodiversity of the Atlantic Forest of Brazil**, p. 43-59. In: C. Galindo-Leal e I. G. Câmara (Eds.). *The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, trends, and outlook*. Washington, D.C.: Center for Applied Biodiversity Science and Island Press, 2003.
- SILVEIRA, L. F.; OLMOS, F.; LONG, A. J. Birds in Atlantic Forest fragments in north-east Brazil. **Cotinga**, v. 20, p. 32–46, January 2003.
- TABARELLI, M., J. M. C. SILVA & C. GASCON. Forest fragmentation, synergisms, and the impoverishment of neotropical forests. Recife-PE. **Biodiversity & Conservation** v13: pp1419-1425, junho de 2004.
- TABARELLI, M., MELO, M.D.V.C. & LIRA, O.C. 2006. **A Mata Atlântica do nordeste**. In: Campanili, M. & Prochnow, M. (eds.). *Mata Atlântica - uma rede pela floresta*. RMA, Brasília, pp. 1-17, Março 2006.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Metais não essenciais e fertilizantes minerais

Os metais são encontrados naturalmente no ambiente, durante ciclos geológicos e biológicos (CARVALHO 2019). Segundo Baykov et al. (1966), a contaminação por metais não essenciais é considerada grave, pois muitos não são degradados e permanecem contaminando os ambientes onde foram dispersos.

Com a expansão industrial e agrícola, houve aumento do nível de compostos contaminantes no meio ambiente. Dentre esses contaminantes estão os metais não essenciais. Comumente conhecidos como “metais pesados”, os metais não essenciais são aqueles com alto potencial de poluição ambiental e causam grandes impactos nos ecossistemas (SALVAGNI 2013) expondo os organismos a diversos tipos de prejuízos. São elementos químicos que não se conhecem funções biológicas os envolvendo e são nocivos mesmo em baixas concentrações (NIENCHESKI & MILANI, 2008), sendo persistentes no ambiente, podendo acumular-se em diferentes níveis da cadeia alimentar (KOJADINOVIC et al. 2007). Em particular, os animais podem ser contaminados por diversas vias, sendo as mais relevantes a ingestão de água e alimentos contaminados (BRYAN et al. 1979; SCHEUHAMMER 1987; MONTEIRO & FURNESS 1995; B & GOCHFELD 2002; BURGER & GOCHFELD 2004).

Nesse sentido, os fertilizantes minerais representam um grande risco quando se trata de contaminação, isso porque são utilizados para fazer a correção de micronutrientes no solo e podem possuir em sua composição metais não essenciais (MALAVOLTA et al. 1997). A presença de metais não essenciais em fertilizantes e corretivos tem sido objeto de muitos estudos devido ao fato destes elementos permanecerem no solo por um tempo indefinido e, dessa forma, causar perigo à saúde humana ou animal ao entrarem na cadeia alimentar, ou de serem carregados por enxurradas para as águas superficiais ou, ainda, lixiviados para a água subterrânea. Dessa maneira, solos submetidos a cultivos intensivos, por longos períodos, tendem a apresentar níveis mais elevados de metais pesados, especialmente em regiões de agricultura baseada em técnicas modernas e sem restrições econômicas, já que as formulações NPK e as diversas formas de fosfato são importantes fornecedores de metais pesados (FILIZOLA; SOUZA; GOMES 2006).

Além da contaminação por metais não essenciais presente nas fórmulas, o uso de fertilizantes de maneira indiscriminada e mal planejada pode causar a acidificação do solo e até mesmo a inativação do mesmo para o uso de certas culturas (ISHERWOOD, 2000). Os fertilizantes podem levar à poluição de lençóis freáticos e águas superficiais causando prejuízo para ao ecossistema, já que são facilmente lixiviados, contaminando as cadeias tróficas (FELIX et al. 2007; SOUZA, 2018).

Dessa maneira, o acúmulo e magnitude dos metais não essenciais no ambiente podem levar a efeitos negativos agudos e crônicos relacionados à saúde dos ecossistemas e seus componentes (PINHEIRO & SIGOLO 2006). A exposição aguda é causada por contato e níveis elevados da substância em um período de vinte de quatro horas ou menos, observando efeito tóxico imediato. De maneira diferente, a exposição crônica é causada por contato em baixos níveis da substância por longos períodos podendo se observar efeitos durante ou mesmo após o período de exposição, ou podem até se manifestar nas gerações seguintes (SISSINO & OLIVEIRA-FILHO, 2013).

Segundo Murta (2020) e Filizola *et al* (2006), dentre os metais não essenciais mais perigosos está o alumínio (Al). Constantino *et al* (2002), cita em seu estudo que o alumínio é o elemento metálico mais abundante na terra. Sua descoberta ocorreu em 1825 e introduzido ao público apenas vinte e cinco anos depois, tempo no qual ficou desconhecido deve-se ao fato do metal não ocorrer naturalmente em sua forma metálica, existindo sempre uma combinação com outros elementos, principalmente o oxigênio. Quando juntos formam um óxido extremamente duro, a alumina. A principal via de contaminação por Al é a água, já que está presente devido ao contato com o solo. Sua concentração pode variar de acordo com o pH da água que pode variar de acordo com sua região (CONSTANTINO *et al.* 2002). A contaminação por Al pode causar sérios danos à saúde humana como mal de Alzheimer (PASCOAL *et al.*, 2007) além de outras doenças como anemia e problemas renais. Alguns estudos apontam a contaminação por alumínio em aves. Marchesi (2013) avaliou a concentração em metais pesados em filhotes de arara-azul entre 2003 e 2004, onde a presença de alumínio se manteve nos mesmo nível nos dois anos, o que corrobora com Kojadinovic *et al.* (2007), que afirma que os metais se acumulam no ambiente e podem sofrer bioacumulação pelos organismos vivos.

2.2 Mata Atlântica e o Centro Pernambuco de Endemismo

O bioma Mata Atlântica é formado por um conjunto de formações florestais e ecossistemas associados que se estendiam originalmente por aproximadamente 1.300.000 km² em 17 estados do território brasileiro (MMA, 2014). Atualmente estima-se que restaram apenas 11,73% da cobertura original (RIBEIRO *et al.*, 2009). A Mata atlântica é um dos cinco *hotspots* mais importantes, sendo uma área de grande endemismo, abrigando 2% das espécies do mundo (MYERS *et al.*, 2000). Dentre as principais ameaças ao bioma, ocupa o primeiro lugar a expansão agropecuária, seguido pela expansão urbana (ICMBio; MMA 2018). Segundo o estudo realizado por Marrara (2020) mais de 80% dos fragmentos são menores do que 50 hectares e a distância média entre os fragmentos é de 1440 metros, que é considerada alta. De forma preocupante, esses fragmentos estão imersos em matrizes urbanas e agropecuárias, principalmente pastagens e lavouras de cana-de-açúcar (TABARELLI; RODA; 2005), onde a maioria destes são áreas de mata secundária (SILVEIRA *et al.*, 2003) resultantes de um processo natural de regeneração de áreas anteriormente degradadas.

No nordeste setentrional do país, os trechos de Mata Atlântica, formam o Centro Pernambuco de Endemismo que está localizado ao norte do Rio São Francisco e abrange os estados de Alagoas, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. São florestas litorâneas e formações de transição para os ambientes mais secos do interior (SILVEIRA *et al.*, 2003). Todavia, a riqueza dessas áreas ainda recebe pouca atenção, pois espécies novas são encontradas (MMA, 2005). Algumas das muitas espécies ameaçadas da Mata Atlântica, atualmente só ocorrem no CPE como *Leptodon forbesi* - em perigo (figura 1) *Momotus momota* - em perigo (figura 2), *Myrmotherula snowi* - criticamente em perigo (figura 3), *Terenura sicki* - criticamente em perigo (figura 4), *Platyrinchus leucoryphus* - vulnerável (figura 5), entre outras (ICMBio, 2018).



Figura 1. *Leptodon forbesi*. Autor: Alan Costa



Figura 2. *Momotus momota*. Autor: Alan Costa.



Figura 3. *Myrmotherula snowi*. Autor: Ester Ramirez



Figura 4. *Terenura sicki*. Autor: Marco Guedes



Figura 5. *Platyrhincus leucoryphus*. Autor: Kakau Oliveira

Segundo Coimbra-filho & Câmara (1996) o CPE foi o trecho mais impactado pela ação antrópica, ao longo de cerca de 500 anos de exploração, quando comparado aos trechos de outras regiões como o Sudeste, além de ser o menos estudado e protegido. Alguns desses fragmentos restantes foram conservados historicamente, já que a localização em encostas e barreiras não serviram para o cultivo de cana-de-açúcar (SILVEIRA et al., 2003). Dito isso, é mais que urgente que os esforços se voltem para conservação do CPE evitando futuras extinções.

2.3 Aves e a contaminação ambiental

De acordo com Antas & Almeida (2002), o desenvolvimento do trabalho com aves em seus ambientes naturais tornou-as o grupo de preferência entre os vertebrados para avaliação e monitoramento da qualidade ambiental. Isso porque elas possuem características ideais que indicam sua adequação aos estudos e tornam as aves como bioindicadores seguros, como o fato de serem diurnas, facilmente detectáveis através de visualização e canto característico, sendo a maioria catalogadas cientificamente, além de já existirem métodos de trabalho em campo padronizados em escala global e por terem seu papel no ecossistema compreendido.

O acúmulo de metais não essenciais em aves tem recebido atenção especial pela capacidade destas de serem biomonitoras, servindo de diagnóstico para o ecossistema que está sendo analisado (HOFFER et al 2010). Segundo Souza (2010) as aves têm sido largamente utilizadas como bioindicadoras por estarem no topo da cadeia alimentar, serem sensíveis a produtos tóxicos, por responderem mudanças sutis no ambiente e por sua alta taxa metabólica (energia necessária para realizar atividades vitais), sendo imprescindíveis na medida que desempenha papel essencial dentro do ecossistema em que vivem, podendo gerar informações valiosas sobre a qualidade do ambiente.

Muitos estudos têm evidenciado que as aves se constituem em organismos muito sensíveis e vulneráveis às contaminações ambientais por substâncias tóxicas. Vieira (2007) encontrou diferenças nos teores de Hg nas penas de duas espécies, o biguá e a garça, e percebeu que o teor de Hg se apresentava em maior concentração no biguá. Verificou também que o biguá apresentou maior Hg no conteúdo estomacal, provavelmente por causa da sua habilidade de captura de presas, obtendo assim, maior nível de biomagnificação de Hg em relação à garça. Castro Martín (2020) estudou a presença de Cd, Pb e Zn de seis espécies de aves: *Calonectris borealis*, *Ardea cinerea*, *Egretta garzetta*, *Scolopax rusticola*, *Larus michahellis*, *Asiootus canariensis*. O autor constatou que os níveis de Pb e Cd são maiores em aves que comem invertebrados terrestres em comparação as aves de rapina e espécies oportunistas. Já o Zn é maior em frangos em crescimento do que em galinhas adultas. Mendes (2007) realizou sua pesquisa no litoral do centro de Portugal onde foram determinados os níveis de 10 elementos tóxicos (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Pb, Se, Zn) no rim, fígado, músculo e penas de 31 atobás (*Morus bassanus*) incluindo 18 juvenis, sete subadultos e seis adultos. Em um complexo de ilhas

da Grécia em sete períodos reprodutivos diferentes entre 2007 e 2014, Marios (2017) avaliou os níveis de cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cobalto (Co), níquel (Ni), manganês (Mn) e zinco (Zn) investigando os potenciais fatores de estresse químico no sangue de juvenis e adultos de cagarras-do-mediterrâneo, *Calonectris diomedea*. Através de seus trabalhos, esses autores confirmaram que as aves são excelentes bioindicadoras de contaminação ambiental.

No Brasil alguns estudos revelam a contaminação da avifauna por compostos presentes em defensivos agrícolas. Silva (2016) apontou a presença de chumbo, cádmio, mercúrio, cromo e cobre em penas de 68 aves de várias espécies em Pernambuco. Valdes (2007) analisou a contaminação de aves da família Caprimulgidae no Parque Nacional das Emas em Goiás, onde uma ave capturada em época de amplo uso de agrotóxicos no entorno, a 59 metros da fonte de contaminação, apresentou no bolo estomacal a presença de compostos contaminantes. Em Santa Catarina, Barbieri et al. (2010) estudaram a presença de contaminantes no gaivotão *Larus dominicanus*. Ferreira (2017) avaliou a presença de metais pesados como zinco, chumbo, cádmio, níquel, cromo e cobre em *Egretta thula* no Rio de Janeiro. Marchesi et al. (2015) identificaram a presença de metais pesados em filhotes da arara *Anodorhynchus hyacinthinus* no Pantanal mato-grossense.

Menq (2017) fala sobre a biomagnificação verificada em aves de rapina, que se alimentam de insetos, roedores e aves menores contaminadas por agrotóxicos. Segundo o autor, no Brasil as corujas *Tyto furcata* e *Athene cunicularia* são as mais vulneráveis ao envenenamento por composto contaminantes, já que vivem associadas a ambientes antrópicos e utilizam áreas rurais para caçar. Menq (2017) também menciona a possibilidade da síndrome da casca fina se manifestar nas aves brasileiras, causada por agrotóxicos legalizados no país e por organoclorados ilegais provenientes do contrabando de países vizinhos. Rosa (2017) encontrou uma aumento da concentração de Cd e Pb em fezes do cisne-de-pescoço-preto (*Cygnus melanocoryphus*) comparados a outro estudos com o mesmo cisne, na ESEC Taim no sul do Rio Grande do Sul, que possivelmente pode estar indicando uma contaminação local. Carvalho (2019) determinou com nível de confiabilidade satisfatório, a presença de Al, Cr, Co, As, Cu e Fe em soro sanguíneo de aves domésticas (*Gallus gallus*). Santos (2014) enfatiza a quase inexistência de literatura relacionada à contaminação de aves por metais tóxicos no Brasil, sendo urgentes mais

trabalhos que investiguem a contaminação por metais não essenciais e os danos causados por ela.

2.4 O papel do inseto na alimentação das aves e a possibilidade de serem vetores de compostos contaminantes.

As aves apresentam uma diversidade alimentar variada, em especial nos sub-bosques florestais brasileiros onde são encontradas espécies onívoras, granívoras, frugívoras e insetívoras no mesmo ambiente (SICK 1997). No entanto, em áreas de florestas tropicais, comunidades de aves de sub-bosque tendem a ser dominadas por aves insetívoras (GREENBERG, 1981). Stouffer & Bierregaard (1995), afirmam que essa guilda é muito dependente de ambientes florestais e possuem capacidade limitada de deslocamento entre áreas fragmentadas. Alguns autores demonstram em seus estudos a importância de se analisar guildas tróficas em pesquisas ecotoxicológicas, principalmente as aves insetívoras. Bartuszevige et al. (2002), Dauwe et al. (2003), Smits et al. (2005), Dauwe et al. (2006) e Mora (2008) analisaram o tecido muscular de aves insetívoras, que apresentaram altos níveis de DDE (dicloro-difenil-dicloroetileno) e bifenilos policlorados (PCBs).

Segundo Brum et al. (2020), os resultados dos trabalhos desses autores reforçam a ideia de que alguns metabólitos de agrotóxicos são persistentes no ambiente e que o DDE presente nessas aves teria sido fruto de uma antiga contaminação por DDT (diclorodifeniltricloetano). Smits et al. (2005) indicaram em sua pesquisa que a maior contaminação de tecido de aves por DDT estava relacionada a alimentação de insetos terrestres contaminados e que seus filhotes alimentados com insetos aquáticos apresentaram altos valores de PCBs no organismo. Dauwe et al. (2006) confirmaram a contaminação por PCBs, PBDEs e pesticidas organoclorados (OCPs) em lagartas, que representam cerca de 73-92% da dieta de filhotes de algumas espécies de aves insetívoras. Luo et al. (2009) afirma que o consumo de insetos implica numa das principais fontes de exposição à diversos tipos de contaminantes em aves, corroborando com ideia de que poluentes orgânicos podem persistir no ambiente, participando da biomagnificação da cadeia alimentar.

2.5 Armadilhas ecológicas

Segundo Schlaepfer et al. (2002), Kristan (2003) e Hickford & Schield (2010) os organismos usam pistas ambientais para avaliar a qualidade do ambiente e assim melhorar sua escolha de onde viver e se reproduzir. Dias (1996) afirma que os habitats com fontes de recursos ricas têm predileção em relação aos mais pobres, que são escolhidos somente quando não existem opções melhores ou não estiverem disponíveis. No entanto, em sistemas que enfrentam rápida mudança ambiental induzida por humanos, as pistas exploradas para a seleção do habitat podem ser dissociadas da verdadeira qualidade do habitat (HALE et al. 2016; SIH, 2013). Demeyrier e Lambrechts (2016) afirmam que esses tipos de habitat podem ser tornar atraentes, mas na verdade reduzem as chances de sobrevivência e reprodução dos organismos. Segundo alguns autores, esses tipos de habitat foram definidos como armadilhas ecológicas ou evolutivas (SCHLAEPFER et al., 2002; ROBERTSON et al. 2006; GILROY et al. 2007; ROBERTSON et al. 2013; HALE et al. 2015).

Em seus estudos, Robertson et al. (2006) propuseram três causas para armadilhas ecológicas. Primeira, as dicas usadas pelos organismos para a seleção do habitat podem mudar tornando o ambiente mais atraente, mas sem de fato mudar a qualidade do habitat. Segunda, estas mesmas pistas podem não ser alteradas quando um ambiente rico é transformado em ambiente pobre. Terceira, juntando as duas situações anteriores, o habitat pode ser tornar mais atraente e ao mesmo tempo perder sua qualidade. No Centro Pernambuco de Endemismo, o alto índice de desmatamento da cobertura original em função da criação de lavouras de cana-de-açúcar e pastagens (ASSIS 1998) tornou o ambiente fragmentado colocando em risco as espécies mais sensíveis podendo funcionar como uma armadilha ecológica para a avifauna local que fica limitada a explorar recursos em áreas possivelmente contaminadas por metais não essenciais.

2.6 O uso de penas para identificar a presença de compostos contaminantes

Por causa do seu mecanismo de formação, as penas têm sido importantes aliadas em estudos para identificar a presença de contaminantes (BURGER & GOCHFELD 1997). Durante o processo de muda, os metais presentes no sangue se acumulam na pena (HOFER et al. 2010). Os metais pesados podem se ligar às moléculas de proteínas das penas no curto período de muda, tornando possível a mensuração desses metais (DAWE et al., 2003). No entanto, a quantidade pode variar durante as fases da muda, podendo a concentração ser maior no início do processo. De acordo com Burger & Gochfeld (1997) a análise de penas possui vantagens como elementos bioindicadores, visto que a técnica não é invasiva e reflete bem o nível de metais no sangue da ave durante a formação da pena. O trabalho de Theophilo (2020) avaliou a presença de metilmercúrio, mercúrio e outros elementos tóxicos através da análise de penas. Seus resultados mostraram que as concentrações de Hg nas penas de pétreis-gigantes-do-sul, *Macronectes giganteus* foram altas e que isso pode estar relacionado ao fato da espécie ocupar o topo da cadeia trófica. Esses trabalhos confirmam que as penas são eficazes para identificar contaminação nas aves.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTAS, P. T. Z; ALMEIDA, A.C. de. **Aves como bioindicadoras de qualidade ambiental**. Aracruz Celulose S.A. p36, Rio de Janeiro, janeiro de 2002.
- ASSIS, J.S. de. Razões e ramificações do desmatamento em Alagoas. In: DINIZ, J.A.F.; FRANÇA, V.L.A. (Org.). **Capítulos de geografia nordestina**. Aracaju: NBGEO-UFS. p. 325-355, Recife-PE 1998.
- BAYKOV, B.D.; STOVANOR, M.P.; GUGOVER, M.L. Cadmium and lead bioaccumulation in male chickens for high food concentration. Environmental Science. **Toxicology and Environment Chemistry**, n 54, p 155-159, November 29, 1996.
- BARBIERI et al. Assessment of trace metal concentration in theaters of seabirds (*Larus dominicanus*) sampled in the Florianopolis, SC, Brazilian coast. **Environmental Monitoring and assessment**, v. 169, n1-4, p 631, October 2010.
- BARTUSZEVICE, A.M. et al. Organochlorine pesticide contamination in gress- nesting passerines that breed in North America. **Environmental Pollution**, V 117, pp 225-232, April 2002.
- BROOKS, L.J.; CAMPBELL, J.W.; MURPHY, J.W. Bioacumulation of mercury in Wilson's snipe from Alabama. **Human-Wildlife Interactions**, v 9, Issue 2, August 2015.
- BRUM, R. B et al. Temporal analysis of the use of birds, as environmental sentinels in the monitoring of contamination by pesticides. Mato Grosso. **Research, Society and Development**, junho de 2020.

BRYAN, G.W *et al.* Bioaccumulation of marine pollutants. Philosophical transactions of the royal society of London: series B- **Biological Sciences**. London, v 286, n1015, p 483-505, august 1979.

BURGER, Joana. Metals in avian feathers: bioindicators of environmental pollution. **Rev Environ Toxicol** v 5, pp203–311, 1993.

BURGER, J; GOCHFELD, M. Marine birds as sentinels of environmental pollution. **EcoHealth**, v1, pp 263-274, september 2004.

CARVALHO. U. O. G. Daniel. **Avaliação clínica de aves expostas a altas concentrações de metais pesados** (2019). p 56. Dissertação de mestrado em Clínica veterinária- Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em:

<https://doi.org/10.11606/D.10.2020.tde-09122019-164901>. Acesso em 06 de junho de 2023.

CASTRO MARTÍN, A. **Studio del contenido de matalas pesados (Cd) y (Pb) e elementos traza esenciales (Zn) em varios tejidos de seis especies de aves de Tenerife**. p29.Trabalho de Conclusão de Curso em Ciências Biológicas. Universidad de La Laguna, 2020.

COIMBRA-FILHO, A. e CÂMARA, I. G. Os limites originais do bioma Mata Atlântica na região nordeste do Brasil. Rio de Janeiro: **Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza**, 1996.

CONSTANTINO, V.R.L. et al. Preparação de compostos de alumínio a partir da bauxita: considerações sobre alguns aspectos envolvidos em um experimento didático. Universidade de São Paulo, - Departamento de Química Fundamental. São Paulo-SP. **Química Nova**, v. 25, n. 3. pp 490-498, agosto de 2002.

DAUWE, T *et al.* Variation of heavy metals within and among feathers of birds of prey: effects of molt and external contamination. **Environmental Pollution**, Issue 3, v. 124. p,429-436, August 2003.

DAUWE, T. *et al.* A disponibilidade de cálcio influencia o acúmulo de chumbo em um pássaro transeunte. **Animal Biology** v 56 n 3, pp 289-298, 2006.

DEMEYRIER, V; LAMBRECHTS, M.M. Experimental demonstration of an ecological trap for a wild bird in a human-transformed environmental. **Animal Behaviour**, V. 118, pp 181-190, august 2016.

DIAS, Paula C. Sources and sinks in population biology. **Trends in Ecology and Evolution**, v 11, pp 326-330, august 1996.

EISLER, Ronald. **Birds, Compendium of Trace Metals and Marine Biota**. Plants and Invertebrates. 1st Edition v 1, October 23, 2019.

ESTOUFFER, P.C; BIERREGAARD, R. Effects of forest fragmentation on understory hummingbirds in Amazonia Brazil. **Conservation Biology**, v 9, n 5, pp 1085-1096, October 1995

FERREIRA, A.P. Avaliação de metais pesados em *Egretta Thula*: estudo de caso: Manguezal de Coroa Grande, Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brasil. **Brazilian Journal of Biology**, v 17, n1, 28, p 6, de fevereiro de 2011.

FELIX, F. F.; NAVICKIENE, S., & DÓREA, H. S. Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) como indicadores da Qualidade dos Solos. **Revista da Fapese**, v 3, No 2, pp 39-62, Dezembro de 2007.

FILIZOLA, H.F; GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. de. **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental**: solo, água e sedimentos. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna- SP, 2006.

GILROY, J.J.& SHUTERLAND, W.J. Beyond ecological traps: Perceptual errors and undervalued resources. **Trends in Ecology and Evolution**, n 22, pp. 351-356, 1 julho, 2007.

GREENBERG, Russel. The abundance and seasonality of forest canopy birds on Barro Island, Panama. **Biotropica** v13: pp 241-251, December 1981.

HALE, R., TREML, E. A., & SWEARER, S. E. Evaluating the metapopulation consequences of ecological traps. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282, 20142930, February 2015.

HALE, R.; SWEARER, S. E. Ecological traps: Current evidence and future directions. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283, 20152647, February 2016.

HICKFORD, MJ; SHIELD, DR. Population sinks resulting's from degraded habitats of an obligate life-history pathway. **Oecologia**, v166, pp131-140, May 2010.

HOFER, C.; GALLAGHER, F. J.; HOLZAPFEL, C. Metal accumulation and performance of nestlings of passerine bird species at an urban brownfield site. **Environmental Pollution**, v. 158, n. 5, pp 1207–1213, May 2010.

KOJADINOVIC, J. *et al.* Trace Elements in Three Marine Birds Breeding on Reunion Island (Western Indian Ocean): Part 1 - Factors Influencing Their Bioaccumulation. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, New York, v. 52, n. 3, p. 418–430, September 2007.

LUO, J., *et al.* Assessment of Pb and Cd contaminations in the urban waterway sediments of the Nen River (Qiqihar section), Northeastern China, and transfer along the food chain. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26 n.6, pp5913- 5924, January 2009.

ICMBIO/MMA. **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção**. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 1ª edição. 3, p 492, Brasília-DF, 2018.

ISHERWOOD, K. F. Mineral Fertilizer use and the Environment, **Rev. ed. Paris**, IFA – International Fertilizer Industry Association, December 2000.

KRISTAN, B, William. The role of habitat selection behavior in population dynamics: Source-sink systems and ecological traps. **Oikos**, v. 103, pp 457-468, Ed Wiley, 2003.

National research Council. **Nutrients Requirements of Poultry**. Ninth revised Edition. Nacional Academies Press, Washington-DC, 1994.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira de Potassa e do Fósforo, P 319, ed. Potafos, Piracicaba-SP, 1997.

MARCHESI, Marina. **Análise de metais pesados em filhotes de arara-azul (Anodorhynchus hyacinthinus) no Pantanal Sul-Mato-Grossense, Brasil**. p 48. Dissertação de Mestrado em Ciência Animal. Universidade Federal de Vila Velha, Vila Velha- ES, 2013.

MARCHESI, MD *et al.* Relationship between weight, age and hatching success and concentration of heavy metals in nestling blues macaw (*Anodorhynchus hyacinthinus*, Latam 1790) in the Pantanal, Mato Grosso do Sul. **Brazilian Journal of veterinary Research**, v. 35, n 4, pp 569-572, Junho de 2015.

VOULGARIS, Mario-Dimitrios, D.V. **Metal concentrations in Scopoli's Shearwater (Calonectris diomedea) seabird in Strofades island complex, Greece** (2017). Tese de Doutorado (Sistemas Marinhos e Costeiros) Universidade do Algarve. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Faro- Portugal, 2017.

MARRARA, Lia, V. K. **A comunidade das aves do Centro de Endemismo Pernambuco: revisão de dados de ocorrência**. (2020). p 48. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Ciências Biológicas. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2020.

MENQ, William. Biomagnificação nas aves de rapina. **Aves de Rapina do Brasil**, 27 de março de 2011. Disponível em: http://www.avesderapinabrasil.com/materias/envenenamento_avesderapina.htm > Acesso em agosto de 2023.

- MENDES, Paula Cristina, L. **Níveis de elementos tóxicos em *Morus bassanus* no litoral centro de Portugal** (2007). p 60. Dissertação de Mestrado em Ecologia, Biodiversidade e Gestão de Ecossistemas. Universidade de Aveiro-Departamento de Biologia, Aveiro-PT, 2007.
- MORA, Miguel A. Organochlorine Pollutants and Stable Isotopes in Resident and Migrant Passerine Birds from Northwest Michoacán, Mexico. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v 55. pp 488–495, october 2008.
- MYERS, N *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853, fevereiro 24, 2000.
- MMA- Ministério do Meio Ambiente. **Diversidade biológica e conservação da Floresta Atlântica ao norte do Rio São Francisco**. Brasília-DF, 2005.
- MMA. **Áreas prioritárias para conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira**. ATUALIZAÇÃO: Portaria MMA no 9, de 23 de janeiro de 2007.
- MMA- Ministério do Meio Ambiente. **Portarias nº 444 e nº 445, de 18 de dezembro de 2014**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, Seção 1, pp. 121-130, 2014.
- MMA. **Cadastro Nacional de Unidades de Conservação**. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/areas-protetidas/cadastro-nacional-de-ucs> acesso em 18 de agosto de 2023.
- MURTA, Laís. Os cinco metais tóxicos mais prejudiciais à saúde. **VegMag**, 24 de agosto de 2020 > disponível em <https://vegmag.com.br/blogs/bem-estar/os-5-metais-toxicos-mais-prejudiciais-a-saude> > acesso em 19 de agosto de 2023
- NIENCHISK, L.F.; MILANI, M.R. Metais traços: água. Poluição Marinha- **Interciência**, p179-196, Rio de Janeiro, 2008.
- OLIVEIRA, Emídio, C.A. **Dinâmica os nutrientes em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena**, (2008), p 84. Dissertação de mestrado em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.
- PASCOAL, JH; SILVEIRA, MF. Bebidas em lata e risco à Saúde. **Jornal Brasileiro de Medicina**, v.92, n.5, p.24-30, Rio de Janeiro, 2007.
- PINHEIRO, C.H.R., & SÍGOLO, J.B. **Metais pesados e a dinâmica lacustre no parque ecológico do Tietê –Centro de Lazer Engenheiro Goulart –RMSP**. Geologia USP Série Científica, v 6, n1, pp 29-39, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.5327/S1519-874X2006000200003> > acesso em: agosto de 2013.
- RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141–1153, Junho 2009.
- ROBERTSON, B. A; HUTTO, R. L. A framework for understanding ecological traps and an evaluation of existing evidence. **Ecology**, v. 87, n. 5, pp1075-1085- Division of Biological Sciences, University of Montana, Missoula 59812, USA, 2006.
- ROBERTSON, B. A., REHAGE, J. S.; SIH, A. Ecological novelty and the emergence of evolutionary traps. **Trends in Ecology Evolution**, v.28, pp 552-560, USA, September 2013.
- RODA, Sônia Aline. **Aves do centro de Endemismo Pernambuco: composição, biogeografia e conservação**. p 80. Tese de Doutorado em Ciências Biológicas. Belém: Universidade Federal do Pará, (2003).
- ROSA, Nathaly N. da. **Contaminação por metais pesados em cisne-de-pescoço-preto (*Cygnus melanocoryphus*) no sul do Brasil**. p 70. Dissertação de mestrado em Ciência Animal. Universidade Federal Rural do Semi Árido. Mossoró, 2017.

SALVAGNI, Thamara. **Metais não essenciais em tecidos de Puffinus puffinus e Puffinus gravis (Aves Procellariiformes) no litoral norte e médio leste do Rio Grande do Sul, Brasil.** p 69. Trabalho de Conclusão de Curso de bacharelado em Ciências Biológicas- Universidade do Rio Grande do Sul, Imbé- RS, 2013.

SANTOS, Eunice F. **Concentração de metais pesados em números de micronúcleos em Cygnus melanocoryphus (ANATIDAE) na Estação Ecológica de Taim, RS** (2014). p 53. Dissertação de mestrado em Ciências Biológicas, área de Biodiversidade Animal- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria- RS, 2014.

SCHEUHAMMER, Anton M. The chronic toxicity of aluminium, mercury, and lead in 39 birds: A review. **Environmental Pollution**, v. 46, n. 4, p. 263–295, 1987.

SCHLAEPFER, M. A., RUNGE, M. C., & SHERMAN, P. W. Ecological and evolutionary traps. **Trends in Ecology and Evolution**, ed. Elsevier, v.17, pp 474-480, October 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(02\)02580-6](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(02)02580-6) > acesso em dezembro 2022.

SICK, Helmut. IN: **Ornitologia Brasileira**. 3 Ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira., p. 256, 1997.

SIH, Andrew. Understanding variation in behavioral responses to human-induced rapid environmental change: A conceptual overview. **Animal Behaviour**, Ed Elsevier, v 85, pp 1077-1088, January 2013.

SILVA, Luana. T.R. **Pesquisa de Metais Pesados em Aves Silvestres no estado de Pernambuco.** (2016), p 101. Dissertação de mestrado em Ciência Veterinária- Departamento de Medicina Veterinária, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2016.

SILVEIRA, L. F.; OLMOS, F.; LONG, A. J. Birds in Atlantic Forest fragments in north-east Brazil. **Cotinga**, v. 20, p. 32–46, January 2003.

SISSINNO, C. L. S; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Princípios de toxicologia ambiental. 1. Ed. **Interciência**, Rio de Janeiro, 2021.

SOUZA, A. MORASSUTI, C. DEUS, W. Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores. **Acta Biomedica Brasiliensia**. V. 9, n 3, Mato Grosso do Sul, dezembro de 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.18571/acbm.189> > acesso em junho de 2023.

SMITS, J. E. G *et al.* Spatial, Temporal, and Dietary Determinants of Organic Contaminants in Nestling Tree Swallows in Point Pelee National Park, Ontario, Canada. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 24, pp 3159–3165, December 2005.

STOUFFER & BIERREGAARD. **Effects of forest fragmentation on Understory Hummingbirds in Amazonian Brazil.** Ed Wiley. V. 9, n 5, pp1085-1094, Washington- DC, 1995.

TABARELLI, M.; RODA, S. A. Uma oportunidade para o Centro de Endemismo Pernambuco. **Natureza & Conservação**, v. 3, n. 2, p. 22–28, Janeiro de 2005.

THEOPHILO, C.Y.S. **Quantificação por metilmercúrio, mercúrio em outros elementos tóxicos em penas de pétreiros-gigantes-do-sul (Macronectes giganteus) das Shetlands do sul, Antártica.** 151p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear) Instituto de pesquisa Energéticas e Nucleares-IPEN. CNE/SP. São Paulo. (2020)

VALDES, Sady A.C. **Estudo da contaminação por agrotóxicos em aves da família caprimulgidae no Parque Nacional das Emas (GO).** Tese de doutorado em Ciências. Química na Agricultura e no Ambiente- Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

Manuscrito formatado de acordo com as exigências do *Bioscience Journal*.

4 MANUSCRIPT

PRESENCE OF ALUMINIUM IN UNDERSTORY WILD BIRDS IN DIFFERENT FRAGMENTS OF THE ATLANTIC FOREST.

Renata Constant de Amorim Lemos^{1,2}

¹Postgraduate Program in Biological Diversity and Conservation in the Tropics, Institute of Biological and Health Sciences, Federal University of Alagoas, Maceió, Alagoas, Brazil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4565-8872>

Daniela Santos Anunciação³

³Laboratory of Instrumentation and Development in Analytical Chemistry - LINQA /IQB/UFAL.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6161-479X>

Márcio Amorim Efe^{1,2}

²Laboratory of Bioecology and Conservation of Neotropical Birds – LABECAN/UFAL.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7865-8345>

ABSTRACT

The Atlantic Forest north of the São Francisco River, known as the Pernambuco Endemism Center, is the most critical area of the biome, mainly due to the fragmentation caused by agricultural expansion. In the process of producing alcohol and sugar and fertilizing agricultural pastures, it is necessary to use fertilizers that may have metals, including aluminum, in their composition and contaminate the environments and their fauna, being persistent in the environment and being able to accumulate at different levels of the food chain, exposing organisms to various types of damage. Among organisms that can suffer from this contamination are birds, which have specific eating habits, the ability to carry out large displacements, have high sensitivity and low levels of detoxifying enzymes. The combination of contaminated and fragmented habitat puts the most sensitive species at risk and can function as an ecological trap. Thus, it is expected that forest birds that inhabit fragments surrounded by sugarcane plantations present some level of contamination by non-essential metals and are trapped in an ecological trap. Thus, this work sought to identify, using feathers, whether wild understory birds are contaminated by aluminum potentially toxic from sugarcane crops and agricultural pastures and whether contaminated spaces can be considered ecological traps for the populations of these fragments, mainly those belonging to the insectivorous guild. The study was carried out, between September 2021 and October 2022, in three fragments of Atlantic Forest protected by the Pernambuco Endemism Center (CPE) in Alagoas, two surrounded by sugarcane plantations and one by pasture. For analysis, 10 breast feathers of understory forest birds were collected and grouped by date and location. The samples were macerated, lyophilized, weighed, stored in a desiccator, digested in a microwave oven, and

analyzed using Optical Emission Spectrometry and inductively coupled plasma to determine the concentrations of aluminum (Al). Our study detected the presence of aluminum in the samples. On dry periods, birds of the species *Schiffornis turdina* from the Murici Ecological Station showed much higher aluminum concentrations than birds of the same species from Mata do Cedro. Furthermore, aluminum concentrations were much higher in September in the avifauna of RPPN Mata do Matão. The results showed the need for attention to the study areas that showed levels of aluminum contamination, which may be working as ecological traps.

Keywords: protected areas, contaminants, heavy metals, endangered species.

4.1 INTRODUCTION

The Atlantic Forest is considered a global hotspot (MYERS 2000) with a high level of biodiversity and endemism. However, it is one of the most threatened Brazilian biomes due to forest devastation (TABARELLI *et al.* 2004; TABARELLI *et al.* 2006). In particular, the Atlantic Forest north of the São Francisco River, known as the Pernambuco Center of Endemism (BROWN 1982; PRANCE 1982; SILVA & CASTELETTI 2003) and considered one of the most important areas for bird conservation in Brazil as it is home to a large number of species threatened with extinction (BROOKS & RYLAND 2003, SILVEIRA *et al.* 2003; MMA, 2014; IUCN, 2021) and being represented by small forest fragments immersed in urban and agricultural matrices caused by the expansion of livestock and sugar cane farming (DEAN 1996; COIMBRA-FILHO & CÂMARA 1996; ASSIS 1998).

In the sugar and alcohol production process, it is necessary to use fertilizers that may contain metals in their composition and contaminate environments and their fauna (KOJADINOVIC *et al.* 2007; OLIVEIRA 2008). Among these non-essential metals, aluminum (Al) is one of the most dangerous (FILIZOLA *et al.* 2006; MURTA, 2020). Generally, aluminum does not occur naturally in its metallic form, there is always a combination with other elements, mainly oxygen, forming an extremely hard oxide, alumina (CONSTANTINO *et al.* 2002).

Al contamination can cause serious damage to human health (PASCOAL *et al.* 2007) and to birds (KOJADINOVIC *et al.* 2007; MARCHESI, 2013), which have specific eating habits, the ability to move, great sensitivity and low levels of detoxifying enzymes (GRUE *et al.*, 1984; PARKER *et al.* 2000). Exposure of birds to these metals, whether acute or chronic, can affect their physiology, behavior, ability to resist disease and high mutation rates (BICKHAM *et al.* 2000). Generally, the main route of contamination in birds is through food (BURGER *et al.* 2014; BURGER *et al.* 2015; BURGER *et al.* 2002) and it is possible to assess the level of this contamination through plumage in this group (IRENA *et al.* 2017; KITOWSKI *et al.* (2017), since during the molting process, metals present in the blood accumulate in the feather (HOFER *et al.* 2010). Although there has previously been a preference to use only top-tier species as bioindicators of environmental contamination, monitoring lower-tier species in trophic guilds, such as insectivorous birds, has shown that they are

also valuable when used as sentinels to determine pollutant contamination. (BRUM *et al.* 2020). Furthermore, the fact that some species of insects have good resilience to the presence of non-essential metals (KAGATA & OHGUSHI, 2011), those present in sugarcane crops and in the fragments surrounding them, can connect the two environments (TURCHIN *et al.* 1991). However, environments that face rapid human-induced change reduce the chances of survival and reproduction of organisms (SIH, 2013; DEMEYRIER & LAMBRECHTS, 2016; HALE *et al.* 2016) and can be defined as ecological or evolutionary traps (SCHLAEPFER *et al.* 2002; ROBERTSON *et al.* 2006; GILROY *et al.* 2007; ROBERTSON *et al.* 2013; HALE *et al.* 2015).

Therefore, in the Pernambuco Endemism Center, the high rate of deforestation of the original cover due to the creation of sugar cane crops and pastures (ASSIS 1998) has made the environment fragmented, putting the most sensitive species at risk and can act as a trap. ecological for local birdlife, which is limited to exploring resources in areas possibly contaminated by non-essential metals. Thus, it is expected that forest birds that inhabit fragments surrounded by sugarcane fields and pastures present some level of aluminum (Al) contamination and may be living in an ecological trap. In this way, this work sought to identify, using feathers, whether wild understory birds are contaminated by aluminum from sugarcane crops and agricultural pastures, characterizing the contaminated spaces as ecological traps for the populations of these fragments, mainly those belonging to the insectivorous guild.

4.2 METHODS

Study area

The study was carried out in three fragments of Atlantic Forest protected from the Pernambuco Endemism Center (Figure 1) in Alagoas, two surrounded by sugarcane crops and one immersed in agricultural pastures. The Murici Ecological Station (Figure 1C) is a federal protected area created in 2001 and has an area of approximately 6,116 hectares distributed between the cities of Murici, Flexeiras and Messias, located 50 kilometers from the capital of Alagoas. This region is home to important remnants of the Atlantic Forest interspersed with extensive agricultural systems. One of the most representative sites of ESEC, the Fazenda Bananeiras forest, with 2,131ha, is among the five largest remnants of the Pernambuco Center of Endemism and has a record of many endemic and threatened species (MYERS *et al.*, 2000). The Private Natural Heritage Reserve (RPPN) Mata do Cedro (Figure 1D) is a private protected area, located in Rio Largo, a municipality neighboring Maceió and belongs to the Utinga Leão plant. It has an area of approximately 500 ha and is surrounded by a matrix of sugar cane. The RPPN Mata do Matão (Figure 1D) has approximately 690 ha, is also a private protected area and is in the municipality of Junqueiro, belonging to Usina Porto Rico. It is considered the most extensive area of Atlantic Forest in the state of Alagoas (Lobo-Araújo *et al.* 2013).

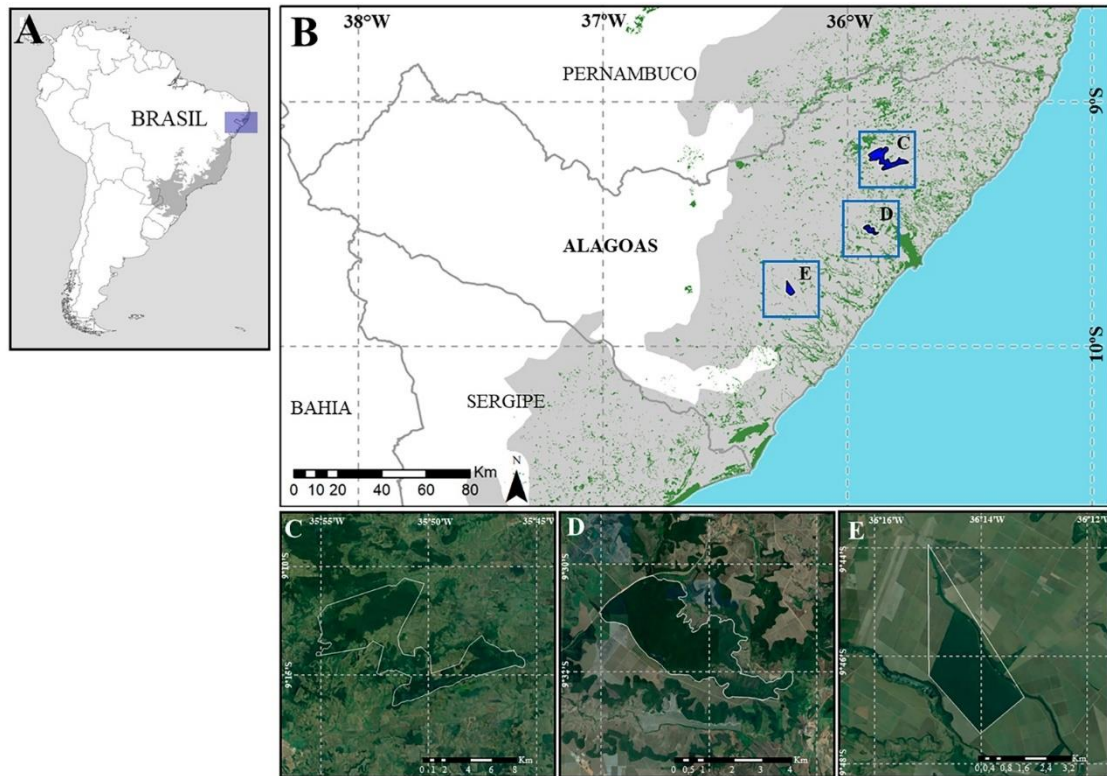


Figure 1. Location of the studied fragments inserted in the Pernambuco Endemism Center. C) ESEC de Murici; D) RPPN Mata do Cedro; E) RPPN Mata do Matão.

Sampling

Sampling was carried out in three-day expeditions with 20 hours of sampling effort between September 2021 and October 2022. The months were selected considering the calendar of the 2021/2022 sugarcane harvest, whose soil preparation period accompanied the rainfall, until August, and the harvest ended in October 2022. The birds were captured along 10 lines of ornithological nets installed 300 meters from the edge of each fragment, measuring 12 meters each (figure 2). After capture, 10 feathers were removed from the bird's chest to avoid damaging its flight feathers. Then, the feathers were placed in individual plastic bags and subsequently stored for analysis. The birds received a metal ring (supplied by CEMAVE/IBAMA), for identification and individualization of the collected feather samples. Collections were authorized by the Ethics Council for the Use of Animals (CEUA Process No. 80/2018) and by the Biodiversity Authorization and Information System (SISBIO – Process No. 23205-12).



Figure 2. Lines of ornithological nets 300 meters from the edge of Mata do Matão.

Analytics

The samples were freeze-dried to remove water through sublimation, weighed, macerated for pulverization, and stored in a desiccator to avoid moisture absorption. Feathers from different species were grouped by date and location (Table 1). As this is a very limited sample mass, it was necessary to pool samples depending on the sampling region, thus constituting composite samples. Subsequently, they were digested in a microwave oven with a cavity to mineralize the samples, eliminate organic matter and make them compatible with the measurement technique. To a mass of 250 mg of sample, 5.0 mL of 7.0 mol L⁻¹ nitric acid and 3.0 mL of 30% v v⁻¹ hydrogen peroxide was added. After digestion, the digest was volumeted to 30 mL with deionized water and subjected to analysis by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP OES).

4.3 RESULTS

Our study analyzed 36 individuals, belonging to 15 species, divided into eight samples and the presence of aluminum was detected in all of them (Table 1).

Table 1. Assembly of samples for spectrometric analysis, gathering feathers of species by location and date and concentrations of aluminum (AL) found in feathers of understory forest birds in fragments of the Atlantic Forest of the Pernambuco Endemism Center in Alagoas, Brazil.

Local	Sample	Date	Taxon	Al mg/kg
ESEC Murici	MURICI I	10/09/21	<i>Pyriglena pernambucensis*</i> , <i>Chiroxiphia pareola*</i> , <i>Xiphorhynchus atlanticus*</i> , <i>Platyrinchus mystaceus</i> <i>niveigularis*</i> , <i>Dendrocincla</i>	257,56

			<i>taunayi</i> *	
	MURICI II	10/09/21	<i>Schiffornis turdina</i> ***	265,51
RPPN Mata do Cedro	CEDRO III	09/10/22	<i>Schiffornis turdina</i> **	57,92
	CEDRO IV	09/02/22	<i>Ceratopipra rubrocapilla</i> ****	273,58
	CEDRO V	09/02/22	<i>Myrmotherula axillaris</i> *, <i>Picumnus exilis</i> *, <i>Conopophaga melanops</i> *, <i>Xenops minutus</i> *, <i>Leptotila rufaxilla</i> *	381,34
RPPN Mata do Matão	MATÃO VI	28/08/21	<i>Arremon taciturnus</i> , <i>Veniliornis affinis</i> e <i>Chiroxiphia pareola</i> ****	552,62
	MATÃO VII	03/10/21	<i>Thamnophilus aethiops</i> **, <i>Arremon taciturnus</i> **, <i>Xenops minutus</i> , <i>Hemitriccus griseipectus</i> e <i>Chiroxiphia pareola</i> *	323,73
	MATÃO VIII	13/02/22	<i>Thamnophilus aethiops</i> ***, <i>Arremon taciturnus</i> *, <i>Chiroxiphia pereola</i> ***, <i>Ceratopipra rubrocapilla</i> *, <i>Hemitriccus griseipectus</i> * e <i>Myrmotherula axillaris</i> *	344,31

Caption: *samples with feathers from only one individual of each species; **sample with feathers from two individuals; ***sample with feathers from three individuals; **** sample with feathers from four individuals.

In the Murici II and Cedro III samples containing only *S. turdina* feathers collected in the dry period (September/October), it was verified that the birds from ESEC in Murici had a higher aluminum concentration than in Mata do Cedro (Figure 3). On the other hand, in samples from RPPN Mata do Matão composed of feathers from various species on different dates, aluminum concentrations fluctuated in their levels, particularly in the sample from the beginning of the dry period (October) (Figure 4).

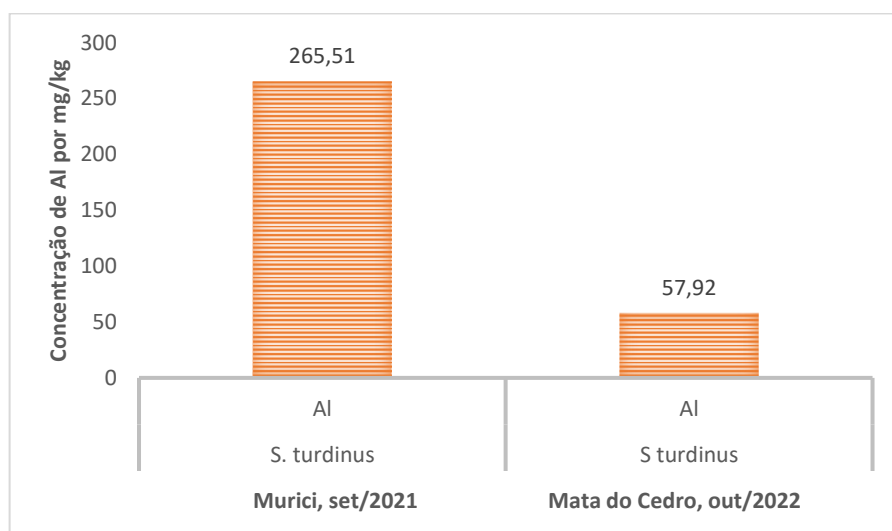


Figure 3. Aluminum (Al) levels found in feather samples from *S. Turdina* during dry periods in the region.

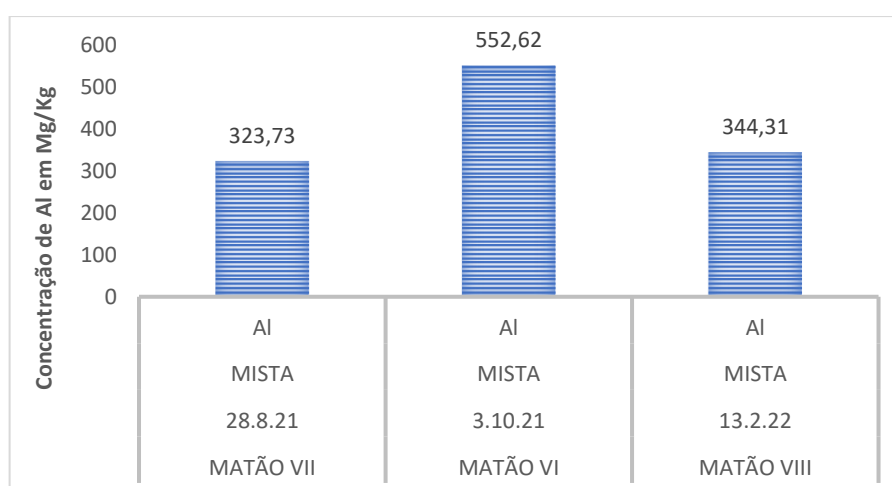


Figure 4. Aluminum (AL) levels found in feather samples from understory forest birds in fragments of the Atlantic Forest of the Pernambuco Endemism Center in Alagoas, Brazil on dates of the dry and rainy periods in the region.

4.4 DISCUSSION

This study points to the presence of aluminum in samples of feathers from understory forest birds in fragments of the Atlantic Forest of the Pernambuco Endemism Center in Alagoas, Brazil. On dates of dry periods, birds of the species *S. turdina* from ESEC-Murici had higher aluminum concentrations than birds of the same species from Mata do Cedro. Furthermore, aluminum concentrations were much higher in September in the birdlife of RPPN Mata do Matão. It is important to highlight that most of the species live in the lower substrates of the forests, feeding on insects, making them easy targets for contamination by aluminum and other possible contaminants found in these fragments. It is worth highlighting the difference between the environmental matrix

that surrounds ESEC de Murici, composed mainly of pastures, and RPPN Mata do Cedro, surrounded by sugar cane plantations. Both matrices have different fertilization cycles and use different chemical compounds in their crops, which may explain the difference found between aluminum concentrations in *S. turdina* in the two areas. Sugarcane is a semi-perennial crop, lasting up to six years and can have between five and six cuts (CRUZ, 2020).

On the other hand, pasture fertilization consists of two phases: establishment or formation fertilization, which aims to provide the nutrients necessary for the development of the pasture, as well as the correction of nutrients in the soil and maintenance fertilization that replaces nutrients extracted or lost during pasture (BERNARDI et al., 2007). The NPK fertilizers used can reach between 500 kg/ha or 700 kg/ha annually, with applications four to seven times during the maintenance period. Therefore, the state of the soil and its acidity associated with fertilizers increase bioavailable Al (which presents harmful acidity) in the environment. In addition to the increase in Al, soil acidification influences the removal of basic cations (Ca, Mg, K and Na) from the soil, replacing them with acidic cations such as Al and H (CAMARGOS, 2005).

Reports obtained during and after the study period provide analyzes of aluminum in the surroundings of two sampled areas. The report from the surrounding area of the RPPN Mata do Cedro (Supplementary Material - MS) shows ten soil samples with a pH below 7 (MS Table 1), considered acidic (Camargo, 2005). Of these, six are at pH levels between 5.2 and 5.7 and two are at pH 6.2 and 6.4. In this state, the exchangeable Al is almost entirely insolubilized, posing no danger (SOBRAL et al 2015). However, two samples have pH 4.9, meaning that there is the presence of bioavailable Al, and consequently, with greater solubility causing problems for the soil (Sobral et al., 2015). Likewise, the report on pastures surrounding ESEC in Murici (MS Table 2) shows eight of the twelve samples with active acidity in the soil (<5.0) and pH between 4.7 and 4.9. The remaining four samples have a pH between 5.1 and 5.3. In all samples, the concentration of bioavailable Al is above 0.5 cmol/dm³ and between 0.15 and 1.0, characterizing a more acidic soil than that surrounding the RPPN Mata do Cedro. However, it is important to highlight that the feather reflects contamination during the molting period, while soil analyzes reflect contamination during the collection period.

It is worth remembering that large amounts of precipitation during the rainy season cause the leaching of soluble nutrients from the soil, also increasing acidity. Therefore, at low pH, aluminum ions are released more strongly, increasing the concentration of available aluminum (STVENSON 1989; BOHNEN 1995; RITCHIE 1995). Therefore, at the end of the rainy season and beginning of the dry season, aluminum levels tend to be higher, which may explain the difference between concentrations in the two periods. Furthermore, this soil acidification process is intensified by mining activities and agricultural practices together with the use of nitrogen fertilizers, including NPK, making it not necessary for the fertilizer to have Al in its composition (STEVENSON 1989; BOHNEN 1995; RITCHIE 1995). However, when nitrogen fertilizers are applied to the soil, they undergo reactions with other components, producing a significant change in pH (CAMARGOS 2005). Therefore, in addition to the soil becoming acidified, it also ends up impoverishing the environment around it and this conjunction between the contaminated and fragmented habitat puts the most sensitive species at risk and can act as an ecological trap.

Equally important, the consumption of insects by insectivorous birds, such as *S. turdina*, can increase aluminum contamination, as it is one of the main sources of exposure to different types of contamination in birds (LUO et al., 2009). Previous studies observed that aluminum toxicity was responsible for the reduction in the brood of *Parus atricapillus* and *Dendroica pensylvanica* and their change in foraging behavior (CARRIERE et al., 1986; SPARLING, 1990; SCHEUHAMMER, 1991). Another important factor is the coincidence of the highest aluminum levels with the beginning of the dry period (September) when the breeding season for most of these understory forest birds in the region also begins. In fact, Al contamination in acidic soils causes harm to birds that nest in the soil (GRAVELAND, 1998), deforming their eggs and reducing laying (ESPARLING & LOWE, 1996), bringing harm to the reproductive success of several species, especially endemic and threatened ones, which tend to have their populations already reduced for other reasons.

Thus, contamination in *S. turdina* samples demonstrates the need for attention for the species and other insectivores in one of the regions with the most threatened birdlife on the planet (COLLAR et al., 1992; BROOKS & BALMFORD, 1996; LEES & PIMM, 2015). ESEC Murici, even without having sugarcane crops in its headquarters, presented levels of aluminum contamination considered high, proving to be a threat to the local fauna, where pastures are more harmful to the environment due to their improper practices, being highlighted in recent years due to the wear and tear caused (ABADIAS, 2020). In this sense, it is suggested that companies adopt a responsible attitude towards the environment, using biofertilizers, managing contaminated areas, controlling their agricultural practices, and carrying out soil and groundwater remediation.

Furthermore, although the areas studied in this work only present contamination by aluminum (Al), it does not mean that other non-essential metals are not present in the environment, making further studies necessary to quantify them, since the areas are exposed to continuous use of mineral fertilizers, being identified as a background area for future monitoring regarding contamination by these metals.

4.5 CONCLUSION

Our study showed the need to pay attention to the study areas in relation to the aluminum concentrations found, which may be functioning as ecological traps since the rapid environmental change characterized by anthropogenic fragmentation in the region has kept these species trapped in contaminated habitats, restricting their environmental quality, and putting these populations at risk. The possibility that there are other non-essential metals available in the fragments exists, which opens us up for future investigations.

Fertilizers may not be the direct cause of contamination, but associated with poor and acidic soil, where strong leaching occurs, they may be the primary route of contamination. Additionally, it is worth investigating whether leaching is contaminating surface and groundwater, making it a possible direct source of contamination.

Finally, this initially exploratory study could serve as a basis for future studies related to

contamination by non-essential metals not only in local areas, but also in forest fragments in Brazil and around the world.

4.6 BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES

ABADIAS, I.M. Identificação dos principais impactos ambientais ocasionados pelo manejo da pecuária no município de Humatã-AM. **RG&AS**, v. 9, n. 2, pp 664-682, abr/jun de 2020.

<https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e22020664-682>

ASSIS, J.S. de. Razões e ramificações do desmatamento em Alagoas. In: DINIZ, J.A.F.; FRANÇA, V.L.A. (Org.). **Capítulos de geografia nordestina**. Aracaju: NBGEO-UFS. p. 325-355, Recife-PE 1998.

BERNARDI, A. C. *et al.* O manejo de pastagens e utilização de fertilizantes e de corretivos por um grupo de pecuaristas da extensão rural. São Carlos, SP: **Embrapa Pecuária Sudeste**, 2007.

BICKHAM, JW *et al.*: implications for biomonitoring and ecotoxicology. **Mutation Research**, V 463, pp 35-51, december 2000. [https://doi.org/10.1016/S1383-5742\(00\)00004-1](https://doi.org/10.1016/S1383-5742(00)00004-1)

BRASIL. **MMA- Ministério do Meio Ambiente**. Portarias nº 444 e nº 445, de 18 de dezembro de 2014. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, Seção 1, pp. 121-130 (2014).

BOHNEN, H. Acidez do solo e calagem. In: GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; TEDESCO, M.J. **Princípios de fertilidade de solo**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, p. 47-7, 1995.

BURGER, J. Differences in the food chain affect heavy metals in poultry eggs in Barnegat Bay, New Jersey. **Environmental Research**, v 1, n 1, pp 33-39, September 2002.

<https://doi.org/10.1006/enrs.2002.4381>

BURGER, J. *et al.* Metals in tissues of migrant semipalmated sandpipers (*Calidris pusilla*) from Delaware Bay, New Jersey. **Environmental Research**, v133, pp 362-370, junho de 2014.

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.05.020>

BURGER, J. *et al.* Mercury, Lead, Cadmium, Arsenic, Chromium and Selenium in feathers of Shorebirds during Migrating through Delaware Bay, New Jersey: Comparing the and the 1990s and 2011-202. **Toxic**, v 3, n1, pp 63-74, March 2015. <https://doi.org/10.3390/toxics3010063>

BROOKS, T. & BALMFORD, A. Atlantic Forest extinctions. **Nature**, v.380, n 6570, p 115, 1996.

BROOKS, T.; RYLANDS, A.B. **Species on the brink**: critically endangered terrestrial vertebrates. In Galindo-Leal, C.; Câmara, I.G. (eds). The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, threats, and outlook. pp. 360-371. Washington, DC. (2003)

BROWN, K. S. Historical and ecological factors in the biogeography of aposematic neotropical butterflies. **American Zoologist**. Ed. Oxford University Press Vo 22: pp 453–471, São Paulo-SP, 1982.<https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4807>

CAMARGOS, Sânia. L. **Acidez do solo e calagem (reação do solo)**. Universidade Federal do Mato

Grosso. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Cuiabá-MG, 2005.

CARRIERE D, FISCHER KL, PEAKALL DB, ANGHEM P. Effects of dietary aluminum sulphate on reproductive success and growth of ringed turtledoves (*Streptopelia risoria*). **Canadian Journal of Zoology**, v. 64, pp 1500-1505, julho de 1986. <https://doi.org/10.1007/BF00303342>

COIMBRA-FILHO, A. e CÂMARA, I. G. Os limites originais do bioma Mata Atlântica na região nordeste do Brasil. Rio de Janeiro: **Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza**, Ed FBCN, Rio de Janeiro, 1996.

COLLAR, N.J *et al.* Threatened birds of the Americas: the ICBP/IUCN Red Data Book. Cambridge, **International Council for Bird Preservation**, v 21, n 1, pp 1055-1135, February 1992.

CRUZ, Diego. Reforma do canal: quando, porque e como fazer (2020). Disponível em: <https://blog.chbagro.com.br/reforma-do-canal-quando-porque-e-como-fazer> > acesso em agosto de 2023.

DEAN, W. **A ferro e fogo**: a história e a devastação da mata atlântica brasileira. Campana das Letras 1 ed. p 484, São Paulo-SP, 1996.

GELAIN, A.J. *et al.* Desmatamento no Brasil: um Problema Ambiental. **Revista Capital Científico**, Guarapuava – PR, 15 de junho de 2012.

GRAVELAND, J. Effects of acid rain on bird's populations. **Journal Environmental Reviews**. v 6, pp 41-44, March 1998. <https://doi.org/10.1139/a98-003>

GRUE, C.E; SHIPLEY, B.K. Sensitivity of nestling and adult Starling to dicotophos, na organophosphate pesticide. **Environmental Research**. New York n.2, p. 454-465, December 1984. [https://doi.org/10.1016/0013-9351\(84\)90152-X](https://doi.org/10.1016/0013-9351(84)90152-X)

HOFER, C.; GALLAGHER, F. J.; HOLZAPFEL, C. Metal accumulation and performance of nestlings of passerine bird species at an urban brownfield site. **Environmental Pollution**, v. 158, n. 5, pp 1207–1213, May 2010. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.01.018>

IRENA, H.A. *et al.* Allocation of Metals and Trace Elements in Different Tissues of Piscivorous Species *Phalacrocorax carbo*. **Archives of environmental contamination and toxicology**, v 73, n. 4, pp 533-541, November 2017. <https://doi.org/10.1007/s00244-017-0452-3>

IUCN. International Union for Conservation of Nature (2021). **Red List**. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/>. > Acesso em 13 de março de 2022.

KAGATA, H; OHGUSHI, T. Positive and negative impacts of insect frass quality on soil nitrogen availability and plant growth. **Population Ecology**, v 54, pp 75–82, January 2012. <https://doi.org/10.1007/s10144-011-0281-6>

- KITOWSKI, I. *et al.* Factors affecting element concentrations in eggshells of three sympatric ally nesting waterbirds in northern Poland. **Archives of environmental contamination and toxicology**, v 74, n 2, pp 318-329, November 2017. <https://doi.org/10.1007/s00244-017-0481-y>
- KOJADINOVIC, J. *et al.* Trace Elements in Three Marine Birds Breeding on Reunion Island (Western Indian Ocean): Part 1 - Factors Influencing Their Bioaccumulation. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v. 52, n. 3, p. 418–430, September 2007. <https://doi.org/10.1007/s00244-005-0225-2>
- LESS, A.C.; PIMM S.L. Species, extinct before we know them? **Currente Biology**, v 25, n 5, pp 177-180, March 2015. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.12.017>
- LOBO-ARAÚJO, L.W. *et al.* Bird communities in three forest types in the Pernambuco Centre of Endemism, Alagoas, Brazil. **Lheringia: série Zoologia**, v103, n 2, pp 85-96, junho de 2013. <https://doi.org/10.1590/S0073-47212013000200002>
- LUO, J. *et al.* Assessment of Pb and Cd contaminations in the urban waterway sediments of the Nen River (Qiqihar section), Northeastern China, and transfer along the food chain. **Environmental Science and Pollution Research**, v 26, n 6, pp 5913- 5924. January 2019. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-04087-w>
- MAHONY, N.; NOL, E.; HUTCHISON, T. Food-chain chemistry, reproductive sucess, and foraging behavior of songbirds in acidified maple forests of central Ontario. **Canadian Journal of Zoology**, v 15, n 4, p 10, April 1997. <https://doi.org/10.1139/z97-06>
- MARTINS, A.P.F.; ERTTO, R.S.; LIMA, J.R. OLIVEIRA, E. Estudo de impactos ambientais na comunidade quilombola Serra Feia - Cacimbas, PB. **ACSA**, v. 13, n.2, pp 121-129, November 2017.
- MYERS, N *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853, fevereiro de 2000. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- NOGUEIRA, Carlos Henrique, C. **Estado nutricional da variedade RB92579 nos ciclos de cana-planta, primeira, segunda e terceira rebrotas**. p 37. Trabalho de Conclusão de Curso em ciências agrárias- Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL, 2019.
- PARKER, M. L.; GOLDSTEIN, M. I. Differential toxicities of organophosphate and carbamate insecticides in the nestling European starling (*Sturnus vulgaris*). **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v39, pp 233-242, August 2000. <https://doi.org/10.1007/s002440010100>
- PRANCE, G. T. Forest refuges: evidence from woody angiosperms. In: Prance, G. T. (ed.) Biological diversification in the tropics. New York: **Columbia University Press**, v 31 p. 22, December 1982.
- PÔRTO, K.; ALMEIDA Cortez, J.S.; TABARELLI, M. Diversidade biológica e conservação da floresta Atlântica ao norte do Rio São Francisco. Brasília: Coleção Biodiversidade. **Ministério do Meio Ambiente**, Brasília-DF, 2005.
- RITCHIE, G.S.P. **Soluble aluminum in acidic soils**: Principles and practicalities. Plant and Soil, Ed. Spring, v.171, n.1, p.17-27, April 1995.

SCHEUHAMMER, A. M. The chronic toxicity of aluminum, mercury, and lead in 39 birds: A review. **Environmental Pollution**, v. 46, n. 4, p. 263–295, 1987. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(87\)90173-4](https://doi.org/10.1016/0269-7491(87)90173-4)

SANTOS, Humberto G. *et al.* **EMBRAPA**. Sistema Brasileiro de classificação de solos. Ed. 5, Brasília-DF, 2018.

SILVA, Ademar B. *et al.* **Potencial pedológico do estado de Alagoas para o cultivo da cana-de-açúcar em manejo com alta tecnologia**. IN: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 28 de julho a 2 de agosto de 2013. Recife-PE. Resumo. Florianópolis-SC, 2013, pp 1-4.

SILVA, J.M.C.; TABARELLI, M. Tree species impoverishment and the future flora of the Atlantic Forest of northeast Brazil. **Nature** v 404, pp 72-74, March 2000. <https://doi.org/10.1038/35003563>

SILVA, J. M. C. e C. H. M. CASTELLETTI. **Status of the biodiversity of the Atlantic Forest of Brazil**, p. 43-59. Em: C. Galindo-Leal e I. G. Câmara (Eds.). The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, trends, and outlook. Washington, D.C.: Center for Applied Biodiversity Science and Island Press, (2003).

SILVEIRA, L. F.; OLMOS, F.; LONG, A. J. Birds in Atlantic Forest fragments in north-east Brazil. **Cotinga**, v. 20, p. 32–46, January 2003

SOBRAL, L. F. *et al.* **EMBRAPA**. Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análise de Solo. Doc 206. Aracaju-Sergipe, 2015.

SPARLING, D.W. Acid precipitation and food quality: inhibition of growth and survival in black ducks and mallards by dietary aluminum, calcium, and phosphorus. **Archives Environmental Contamination and Toxicology**, v19, pp 457-463. May 1990. <https://doi.org/10.1007/BF01054992>

SPARLING & LOWE. Reviews of environmental Contamination and Toxicology. Environmental hazards of aluminum to plants, invertebrates, fish, and wildlife. **Reviews of environmental contamination and toxicology**. Ed Springer, p 1-127, New York, 1996. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2354-2_1

STEVENSON, F.J. *et al.* **Methodologies for assessing the quantity and quality of soil organic matter**. In: COLEMAN, D.C., OADES, J.M. & UEHARA, G., eds. Honolulu, University of Hawaii-NifTAL Project, p.173-199, 1989.

TABARELLI, M., J. M. C. SILVA & C. GASCON. Forest fragmentation, synergisms, and the impoverishment of neotropical forests. Recife-PE. **Biodiversity & Conservation** v13: pp1419-1425, junho de 2004. <https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000019398.36045.1b>

TABARELLI, M., MELO, M.D.V.C. & LIRA, O.C. 2006. **A Mata Atlântica do nordeste**. In: Campanili, M. & Prochnow, M. (eds.). Mata Atlântica - uma rede pela floresta. RMA, Brasília, pp. 1-17, Março 2006.

TURCHIN, P., ODENDAAL, F. J. & RAUSHER, M. D. Quantifying Insect Movement in the Field. **Environmental Entomology**, v. 20, n. 4, pp 955–963, August, 1991. <https://doi.org/10.1093/ee/20.4.955>

Supplementary Material

Table 1. Soil analysis of sugarcane crops around the RPPN Mata do Cedro. Source: Utinga Leão Plant.

Certificate Nº: 040112
Origin: Usina Utinga Leão
Groups: solos
Maceió, 31 de Maio de 2022.

	Samples									
Parameters	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441
<i>pH (in water)</i>	4,9	4,9	5,5	5,7	6,4	6,2	5,2	5,3	5,7	5,6
<i>Na (ppm)</i>	12	11	22	28	12	0	12	8	10	9
<i>P (ppm)</i>	54	41	41	15	83	48	0	7	10	7
<i>K (ppm)</i>	68	27	20	13	26	17	32	18	59	30
<i>Ca+Mg meq/100ml</i>	2,9	2,8	4,1	3,8	6,3	5,1	3,1	3,5	4,5	4,1
<i>Ca meq/100ml</i>	1,4	1,4	2,0	1,9	3,2	2,6	1,5	1,7	2,2	2,1
<i>Mg meq/100ml</i>	1,5	1,4	2,1	1,9	3,1	2,5	1,5	1,8	2,3	2,0
<i>Al meq/100ml</i>	0,69	0,81	0,46	0,45	0,00	0,00	0,40	0,35	0,11	0,17
<i>H+Al meq/100ml</i>	6,3	5,6	3,5	3,1	2,6	3,3	5,3	4,8	4,8	4,2

Table 2. Soil analysis of agricultural pastures around ESEC-Murici. Source: UFAL.

Certificate Nº:046261
Origin: FUNDEPES-UFAL
Groups: solos
Maceió, 11 de agosto de 2023

	Samples											
Parameters	248	249	250	251	252	253	254	255	2576	257	258	259
pH (in water)	5,1	5,2	4,7	4,8	4,7	4,7	5,3	5,1	4,8	4,9	4,9	4,7
Na (ppm)	20	19	19	19	19	19	20	18	19	18	18	18
P (ppm)	69	23	59	41	28	18	119	5	36	10	8	4
K (ppm)	43	38	23	22	24	23	47	32	19	17	19	19
Ca+Mg meq/100ml	3,6	2,2	1,2	1,6	3,1	2,0	4,8	2,7	1,8	2,8	1,9	1,3
Ca meq/100ml	2,4	1,9	0,9	1,3	2,7	1,3	3,8	1,8	1,1	1,8	1,7	1,0
Mg meq/100ml	1,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,7	1,0	0,9	0,7	1,0	0,2	0,3
Al meq/100ml	0,77	0,52	0,92	0,81	0,98	1,0	0,18	0,15	0,63	0,54	0,56	0,90
H+Al meq/100ml	8,5	6,8	6,0	5,5	8,0	7,5	7,2	4,3	4,2	3,5	0,57	0,90

Photos taken during sampling periods.



Photo 1. *Arremon taciturnus* (Author Renata Lemos)



Photo 2. *Hemitriccus griseipectus*. (Author Renata Lemos)



Photo 3. *Myrmotherula axillaris* (Author Renata Lemos)



Photo 4. *Leptotila rufaxilla* (Author Renata Lemos)



Photo 5. Macho de *Ceratopriya rubrocapilla* (Author Renata Lemos)



Photo 6. Fêmea de *C. rubrocapilla* (Author Renata Lemos).



Photo 7. *Dendrocincla taunayi* (Author Renata Lemos).



Photo 8. Macho de *Pyriglena leuconota* (Author Renata Lemos).



Photo 9. Fêmea de *Chiroxiphia pareola* (Author Renata Lemos).