

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 12/06/2023.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

GUILHERME DOS SANTOS LIMA

**AVALIAÇÃO DE AVES AQUÁTICAS COMO SENTINELAS
NO MONITORAMENTO DE METAIS EM ÁREA DE
INFLUÊNCIA DAS ATIVIDADES DE EXPLORAÇÃO E
PRODUÇÃO DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL**

Orientador: Prof. Dr. Amauri Antonio Menegário

Rio Claro - SP
2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

GUILHERME DOS SANTOS LIMA

**AVALIAÇÃO DE AVES AQUÁTICAS COMO SENTINELAS
NO MONITORAMENTO DE METAIS EM ÁREA DE
INFLUÊNCIA DAS ATIVIDADES DE EXPLORAÇÃO E
PRODUÇÃO DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas do
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Geociências e Meio
Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Amauri Antonio
Menegário

Rio Claro - SP
2022

L732a	Lima, Guilherme dos Santos Avaliação de aves aquáticas como sentinelas no monitoramento de metais em área de influência das atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural / Guilherme dos Santos Lima. -- Rio Claro, 2022 69 p. : il., tabs., fotos, mapas Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro Orientador: Amauri Antonio Menegário 1. Elementos-traço. 2. Contaminação. 3. Aves aquáticas. 4. Conservação. 5. Sentinelas ambientais. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

GUILHERME DOS SANTOS LIMA

**AVALIAÇÃO DE AVES AQUÁTICAS COMO SENTINELAS
NO MONITORAMENTO DE METAIS EM ÁREA DE
INFLUÊNCIA DAS ATIVIDADES DE EXPLORAÇÃO E
PRODUÇÃO DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas do
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Geociências e Meio
Ambiente.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. AMAURI ANTONIO MENEGÁRIO
CEA/UNESP – Rio Claro (SP)

Prof. Dr. JOSÉ SILVIO GOVONE
IGCE/UNESP - Rio Claro (SP)

Dra. MELINA BORGES TEIXEIRA ZANATTA
Autônoma – Rio Claro (SP)

Conceito: Aprovado.

Rio Claro/SP, 12 de dezembro de 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Amauri Antonio Menegário pela oportunidade, confiança e orientação para a realização do presente trabalho.

Agradeço a todos os funcionários do CEA, integrantes/ ex-integrantes do grupo Tetrápodes e ao GEMB (Grupo de Estudos e Desenvolvimento Metodológico em Biogeoquímica) pelo suporte, apoio, conhecimentos transmitidos, colaboração durante as análises e sugestões na escrita do trabalho.

Por fim, agradeço aos integrantes da banca de qualificação (Prof. Dr. Daniel Marcos Bonotto e Dr. Carlos Alfredo Suárez) e integrantes da banca de defesa (Prof. Dr. José Silvio Govone e Dra. Melina Borges Teixeira Zanatta) pelas sugestões e críticas realizadas visando enriquecer o trabalho.

RESUMO

O aumento de fontes difusas de poluentes e contaminantes nas regiões costeiras causam impactos negativos a longo prazo à vida presente neste ecossistema. Sabe-se que a contaminação em organismos marinhos por metais e metaloides tem aumentado nos últimos anos em decorrência de descargas de contaminantes químicos provenientes de atividades antrópicas. Dentre as atividades antrópicas que podem ser fontes de contaminação para organismos marinhos, temos as atividades relacionadas à exploração e produção de petróleo e gás natural. Além disso, mais recentemente desastres ambientais envolvendo derramamento de óleo nas águas costeiras brasileiras têm sido ameaças constantes aos organismos e ao ecossistema costeiro. O presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial uso de aves pelágicas (oceânicas); *Thalassarche melanophris* e *Thalassarche chlororhynchos* e aves de águas interiores (*Nannopterum brasilianus*) que vivem na área de influência das atividades de produção de petróleo e gás natural, como sentinelas da contaminação de As, Cd, Cr, Cu, Pb, Mn, Mo, Zn, Ni, Ba, V e Hg. As amostras de tecido hepático das três espécies foram provenientes de indivíduos encontrados encalhados no sul e sudeste da costa brasileira, durante monitoramento diário realizado pelo Projeto de Monitoramento de Praias (PMP) entre os anos de 2015 e 2022. Agrupando todas as espécies os elementos com maiores concentrações foram, em ordem decrescente: Zn > Cu > Mn > Hg > As > Cd > Mo > V > Cr > Ba > Ni > Pb. Aves pelágicas apresentaram maiores níveis de concentrações para Hg, As e Cd, indicando que ocorre uma maior biodisponibilidade desses elementos nas áreas forrageadas por espécies pelágicas. Alguns indivíduos apresentaram níveis elevados para alguns elementos, provavelmente devido a contaminação por origem antrópica. Não houve variação temporal e grande diferença espacial na distribuição das concentrações. Os resultados apresentados indicam que as três espécies acumulam os elementos estudados e são boas sentinelas ambientais, no entanto, a comparação entre as diferentes espécies deve ser feita com cautela, visto que espécies de guildas diferentes apresentam concentrações em diferentes ordens de grandeza para alguns elementos.

Palavras-chave: Elementos-traço; Contaminação; Conservação; Aves aquáticas.

ABSTRACT

The increase in diffuse sources of pollutants and contaminants in coastal regions causes long-term negative impacts on the life present in this ecosystem. It is known that contamination in marine organisms by metals and metalloids has increased in recent years as a result of discharges of chemical contaminants from human activities. Among the human activities that can be sources of contamination for marine organisms, we have the activities related to the exploration and production of oil and natural gas. In addition, more recently environmental disasters involving oil spills in Brazilian coastal waters have been constant threats to organisms and the coastal ecosystem. The present study aimed to evaluate the potential use of pelagic (oceanic) birds; *Thalassarche melanophris* and *Thalassarche chlororhynchos* and inland birds (*Nannopterum brasilianus*) that live in the area of influence of oil and natural gas production activities, as sentinels of contamination of As, Cd, Cr, Cu, Pb, Mn, Mo, Zn Ni, Ba, V and Hg. The liver tissue samples of the three species came from individuals found stranded in the south and southeast of the Brazilian coast, during daily monitoring carried out by the Beaches Monitoring Project (PMP) between 2015 and 2022. Grouping all species, the elements with highest concentrations were, in decreasing order: Zn > Cu > Mn > Hg > As > Cd > Mo > V > Cr > Ba > Ni > Pb. Pelagic birds showed higher levels of concentrations for Hg, As and Cd, indicating that there is a greater bioavailability of these elements in areas foraged by pelagic species. Some individuals showed high levels of some elements, probably due to contamination by anthropic origin. There was no temporal variation and great spatial difference in the distribution of concentrations. The results presented indicate that the three species accumulate the studied elements and are good environmental sentinels, however, the comparison between the different species must be done with caution, since species from different guilds present concentrations in different orders of magnitude for some elements.

Keywords: Trace Elements; Contamination; Conservation; Water birds.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Localização de coordenadas geográficas de espécimes de <i>Nannopterum brasilianus</i> , <i>Thalassarche melanophris</i> e <i>Thalassarche chlororhynchos</i> encontrados encalhados na área de extensão do PMP-BS.	13
Figura 2. Aves encalhadas coletadas na costa brasileira. (1) <i>Thalassarche chlororhynchos</i> , (2) <i>Thalassarche melanophris</i> e (3) <i>Nannopterum brasilianus</i> . Fonte: SIMBA (modificado)	14
Figura 3. Box plot das concentrações dos elementos essenciais nas três espécies de aves analisadas neste estudo.	21
Figura 4. Box plot das concentrações dos elementos não essenciais nas três espécies de aves analisadas neste estudo.	21
Figura 5. Distribuição das concentrações em aves pelágicas e estuarinas e taxa de produção de óleo equivalente/dia (boe/d) durante os (71) meses de coleta. Os pontos e linhas verdes representam as aves estuarinas e os pontos e linhas azuis representam as aves pelágicas. A linha representa a tendência suavizada e a seção de sombra são os intervalos de confiança de erro padrão.	24
Figura 6. Dendrograma hierárquico de elementos em aves estuarinas e pelágicas.	25
Figura 7. Análise de componentes principais (PCA) de elementos essenciais e não essenciais em aves estuarinas e pelágicas.	26
Figura 8. Análise de componentes principais (PCA) separada em elementos essenciais e não essenciais em aves estuarinas e pelágicas.	27
Figura 9. Análise de componentes principais (PCA) em função da relação dos elementos com área de extensão (limite do Estado) a qual os indivíduos foram coletados.	28
Figura S1. Variação nas concentrações dos elementos em fígado de <i>Nannopterum brasilianus</i> amostrados em quatro áreas distintas ao longo da bacia de Santos. As linhas horizontais dentro dos box plots exibem as medianas, a linha superior indica o 75º quartil e a linha inferior, o 25º quartil.	67
Figura S2. Variação nas concentrações dos elementos em fígado de <i>Thalassarche chlororhynchos</i> e <i>Thalassarche melanophris</i> amostrados em quatro áreas distintas ao longo da bacia de Santos. As linhas horizontais dentro dos box plots exibem as medianas, a linha superior indica o 75º quartil e a linha inferior, o 25º quartil.	68
Figura S3. Correlações de Spearman entre as concentrações de metais e metalóides em aves estuarinas e pelágicas amostrados independentes da área de coleta ao longo da bacia de Santos.	68
Figura S4. Correlações de Spearman entre as concentrações de metais e metalóides em aves estuarinas e pelágicas amostrados em quatro áreas distintas ao longo da bacia de Santos.	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados para o material certificado de referência (Media $\pm$ desvio padrão).....	18
Tabela 2. Estatística resumida das concentrações determinadas em tecido hepático de aves encalhadas na costa brasileira. Dados são apresentados em mg/kg peso seco. Valor de p do teste de Kruskal-Wallis, comparando a concentração dos elementos com a variável espécie. LD = limite de detecção. LQ = Limite de Quantificação.....	19
Tabela S1. Resumo dos parâmetros instrumentais modo CCT H2/He.....	50
Tabela S2. Resumo dos parâmetros instrumentais modo STD.....	50
Tabela S3. Características biológicas (sexo, estágio de desenvolvimento), data e localização georreferenciada de coleta e concentrações (média das pseudoreplicas, n=3) de elementos (mg kg ⁻¹ , peso seco) no tecido hepático de aves de aves encalhadas na costa brasileira (n=97), região da Baía de Santos, Brasil.....	52
Tabela S4. Teste de Dunn com ajuste do valor de p = "bonferroni"	56
Tabela S5. Valores do teste Kruskal-Wallis em função do sexo para <i>N. brasiliensis</i>	56
Tabela S6. Valores do teste Kruskal-Wallis em função do sexo para <i>T. melanophrys</i>	56
Tabela S7. Valores do teste Kruskal-Wallis em função da área de coleta para <i>N. brasiliensis</i>	57
Tabela S8. Valores do teste Kruskal-Wallis em função da área de coleta para <i>T. melanophrys</i>	57
Tabela S9. Dados exploratórios referentes ao PCA para todos elementos.....	57
Tabela S9.1. Dados exploratórios referentes ao PCA para todos elementos.	57
Tabela S10. Dados exploratórios referentes ao PCA para elementos essenciais.....	58
Tabela S10.1. Dados exploratórios referentes ao PCA para elementos essenciais.....	58
Tabela S11. Dados exploratórios referentes ao PCA para elementos não essenciais.....	58
Tabela S11.1. Dados exploratórios referentes ao PCA para elementos não essenciais.....	58
Tabela S12. Dados exploratórios referentes ao PCA aplicado a área SC.....	59
Tabela S12.1. Dados exploratórios referentes ao PCA aplicado a área SC.....	59
Tabela S13. Dados exploratórios referentes ao PCA aplicado a área PR.....	59
Tabela S13.1. Dados exploratórios referentes ao PCA aplicado a área PR.....	60
Tabela S14. Dados exploratórios referentes ao PCA aplicado a área SP.....	60
Tabela S14.1. Dados exploratórios referentes ao PCA aplicado a área SP.....	60
Tabela S15. Dados exploratórios referentes ao PCA aplicado a área RJ.....	61
Tabela S15.1. Dados exploratórios referentes ao PCA aplicado a área RJ.....	61
Tabela S16. Valores obtidos do fator de alerta para cada indivíduo.....	62
Tabela S17. Concentrações médias dos elementos determinados no tecido hepático de aves marinhas e estuarinas na literatura, expressas em mg kg ⁻¹ d. W. As concentrações dos elementos de estudos anteriores relatados em peso úmido foram convertidas em peso seco usando os fatores de conversão descritos por Mochizuki et al. (2008).....	66

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
2.1 Área de estudo	11
2.2 Espécies estudadas	12
2.3 Coleta das amostras	13
2.4 Métodos analíticos	14
2.4.1 Metodologia da digestão	14
2.4.2 Diluição	15
2.4.3 ICP-MS.....	15
2.4.4 CV-AFS.....	16
2.5 Certificação e garantia de qualidade	16
2.6 Análise estatística dos dados.....	16
2.7 Fator de alerta nas concentrações	17
3. RESULTADOS.....	18
3.1 Variação das concentrações e aspectos intra e interespecíficos.....	20
3.2 Variação temporal.....	23
3.3 Análise de agrupamentos	24
3.4 Análise de componentes principais.....	25
3.5 Fator de alerta	29
4. DISCUSSÃO	30
4.1 Concentrações	30
4.2 Cobre e Zinco.....	30
4.3 Vanádio, Manganês e Molibdênio	32
4.4 Potenciais fontes dos elementos e diferentes localidades	36
4.5 Valores extremos	37
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
6. REFERÊNCIAS	40
7. ANEXOS	50

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que os metais e metaloides, também denominados elementos-traço (ET), estão naturalmente presentes no meio ambiente provenientes de fontes naturais, no entanto sua distribuição em solo, água e acumulação na biota também podem ser decorrentes de atividades humanas (DEHEYN et al., 2005; VIEIRA et al., 2019; WANG et al., 2021), assim sua presença no meio ambiente pode ser de origem litogênica e antropogênica. Estes elementos podem ser introduzidos no ambiente marinho como resultado do intemperismo de rochas, erupções vulcânicas e de uma variedade de atividades urbanas e industriais localizadas em áreas costeiras (GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ et al., 2011; JAIN, 2004; OCHIENG; LALAH; WANDIGA, 2009). Os ET permanecem no ambiente por longo período até serem diluídos, precipitados e/ou transformados ao reagir com outros elementos (BRIFFA; SINAGRA; BLUNDELL, 2020).

Estressores antropogênicos, como a urbanização acelerada, industrialização e atividades do agronegócio tem intensificado o lançamento de potenciais contaminantes nas regiões costeiras (NKWOJI; UGBANA; INA-SALWANY, 2020; PRABHAKARAN et al., 2017), principalmente o lançamento de metais que podem causar uma série de impactos negativos a longo prazo à vida presente nestes ecossistemas costeiros (FU et al., 2013; SUJAU et al., 2013; SUN et al., 2017; WRIGHT; RYAN, 2016) . Assim, organismos aquáticos e aqueles que exploram recursos deste ecossistema, estão particularmente expostos em níveis crescentes de contaminantes, seja devido a fontes difusas ou descargas diretas dos compartimentos terrestres e atmosféricos (RAMOS; RAMÍREZ; JOVER, 2013) .

A discriminação das fontes naturais e antropogênicas destes elementos são essenciais para o entendimento, controle e prevenção da poluição marinha (ZHOU; GUO; LIU, 2007). Além das diversas fontes de contaminantes em atividades humanas no continente, possíveis fontes de contaminação para a região costeira são as atividades relacionadas à exploração e produção de petróleo e gás natural. Acidentes e/ou operações durante a perfuração, produção e transporte de petróleo contribuem para a contaminação do ambiente marinho por petróleo e seus derivados (CABRAL et al., 2022; GANESAN et al., 2022).

Alguns metais são liberados no meio ambiente durante a exploração e produção de petróleo e também durante o refino do petróleo bruto (AKINLUA; SMITH, 2010). A toxicidade do petróleo está relacionada à sua composição, composta de hidrocarbonetos e outros elementos, como níquel, alumínio ou vanádio (KAMMERER et al., 2004). O Petróleo bruto, alguns combustíveis e óleos usados na indústria petrolífera podem apresentar altas

concentrações de metais na sua composição, como arsênio, cádmio, cobre, cromo, chumbo, manganês, mercúrio, vanádio e outros (KING; ELLIOTT; WILLIAMS, 2021a). Além disso, a água produzida que é o principal efluente da produção de óleo e gás também contém metais em sua composição (LOURENÇO et al., 2018). Dentre os metais encontrados em petróleos brutos e consequentemente em seus derivados, os mais abundantes e de maior preocupação são o vanádio e o níquel (ALI; ABBAS, 2006; DE SOUZA et al., 2006). Alguns estudos relatam que o conhecimento da razão Ni e V pode ser usado como parâmetro de correlação, fornecendo importantes informações geológicas e podendo ser utilizado como uma impressão digital do óleo (GALARRAGA et al., 2008; LÓPEZ et al., 1995).

Recentemente assistimos a um grave desastre ambiental devido a um grande derramamento de óleo em águas costeiras brasileiras, cujo amostras de petróleo bruto apresentaram altas concentrações de Hg, As, Cd, Pb (SOARES et al., 2021, 2020). Estudos evidenciaram que o derramamento de óleo resulta em aumento imediato nas concentrações de Zn, Cr, Cu, Pb, Ni e V nas águas e solos afetados (MORENO et al., 2011). No entanto, são poucos os dados vinculando diretamente as concentrações de metais nos tecidos de animais de maior nível trófico à exposição ao petróleo ou quaisquer efeitos adversos à saúde resultantes (KING; ELLIOTT; WILLIAMS, 2021b).

Pesquisadores vem utilizando aves como sentinelas ambientais devido a capacidade desses indivíduos de mapear a fração biodisponível de determinados elementos de um ecossistema retendo o contaminante em seus tecidos (BEEBY, 2001), refletindo a biodisponibilidade de determinadas regiões em diferentes escalas espaciais e temporais (CARRAVIERI et al., 2013), assim, podendo fornecer informações sobre a poluição em ambientes marinhos e de água doce (ELLIOTT; ELLIOTT, 2013; MALLORY et al., 2010). Isto, devido à capacidade das aves de percorrer longas distâncias, possuir comportamento migratório e/ou possuir estabelecimento de colônias fixas em determinados locais (VIZUETE et al., 2022). O uso de aves em estudos como sentinelas pode fornecer informações referentes a ambientes com pouca interferência antrópica (CIPRO et al., 2013; EWBANK et al., 2021), assim como sobre ambientes alterados por atividades antrópicas (Provencher et al., 2020; Nunes et al., 2022), proporcionando um melhor entendimento sobre a saúde do ecossistema (SMITS; FERNIE, 2013). No entanto, além da variabilidade geográfica, fatores interespecíficos e intraespecíficos podem influenciar na exposição das aves marinhas aos contaminantes, influenciando no uso delas como sentinelas (RAMOS; RAMÍREZ; JOVER, 2013).

No processo de bioconcentração a dieta é a principal via de absorção dos elementos pelos tecidos (DURANTE et al., 2020). Diferentes tecidos de aves têm sido avaliados como

bons indicadores dos níveis de contaminação ambiental (VIZUETE et al., 2022). Cada tecido, com sua particularidade, pode responder diferentes perguntas sobre a acumulação e mecanismos de vias de excreção em diferentes escalas de tempo. O fígado tem se tornado um tecido padrão para monitorar a exposição a longo prazo (anos) em tetrápodes marinhos (LIMA et al., 2022; SULATO et al., 2022).

Buscando a avaliação, distribuição e impacto desses metais e metaloides no ecossistema marinho, e visando a qualidade ambiental é essencial monitorar a longo prazo as concentrações de linha de base desses elementos nos organismos, assim como avaliar possíveis áreas hotspot de contaminação e influências relacionadas aos parâmetros biológicos. Em função do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial uso de aves pelágicas (oceânicas); *Thalassarche melanophris* e *Thalassarche chlororhynchos* e aves de águas interiores (*Nannopterum brasilianus*) que vivem na área de influência das atividades de produção de petróleo e gás natural, como sentinelas da contaminação de As, Cd, Cr, Cu, Pb, Mn, Mo, Zn, Ni, Ba, V e Hg. Espera-se com este trabalho observar correlações entre elementos, padrões regionais de exposição a contaminantes e possíveis tendências temporais e espaciais nos níveis de exposição dentro das espécies estudadas, ampliando o conhecimento sobre fontes e distribuição das concentrações no organismo de diferentes aves.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como principal proposta ampliar o conhecimento sobre concentrações de metais e metaloides em aves dispostas na costa brasileira, com o objetivo de que os resultados aqui presentes possam servir como base para o monitoramento em futuras pesquisas na área de ambientes costeiros e área de influência de bacia de santos, funcionando como uma importante ferramenta de alerta de poluição marinha, e para revelar tendências temporais e espaciais.

Em geral, as espécies aqui estudadas estão expostas a concentrações moderadas de metais e metaloides, em comparação com outras espécies na mesma região e em diferentes

regiões do mundo. Alguns indivíduos apresentaram concentrações elevadas potencialmente provenientes de atividades antrópicas que podem representar risco à saúde das espécies. Contudo estas concentrações observadas são pontuais em diferentes localidades e para diferentes elementos, não apresentando uma fonte de contaminação forte em determinada região, indicando a necessidade de monitoramento contínuo em relação a esses elementos. Além do mais, os resultados das concentrações desses elementos sugerem que as duas espécies estudadas de aves pelágicas possuem altas concentrações de elementos não essenciais pois estão expostas a níveis naturais elevados em sua área de forrageamento e área de reprodução. Foi observado variações interespecíficas principalmente nos níveis de elementos não essenciais entre as diferentes guildas, já as variações intraespecíficas não foram significativas. Os resultados do estudo aqui apresentados indicam que aves pelágicas tendem a acumular maiores concentrações de As, Cd, Hg e Pb do que aves estuarinas.

Em geral não houve diferenças entre as concentrações amostradas em aves de uma mesma espécie encalhadas em diferentes locais e entre os diferentes anos de coleta. Isto sugere que a poluição por metais e metaloides na área de influência da bacia de Santos é caracterizada por eventos de poluição locais de curto prazo e não constante por pontos quentes espaciais. Por outro lado, o fato de não ocorrer grandes diferenças entre as áreas pode ser devido à grande sobreposição das aves na área de vida dessas espécies.

Os resultados aqui apresentados indicam que as três espécies acumulam os metais estudados e são boas sentinelas ambientais, no entanto, a comparação entre diferentes espécies deve ser feita com cautela, visto que espécies de guildas diferentes apresentam concentrações em diferentes ordens de grandeza para alguns elementos, e não necessariamente indicam que uma espécie está mais ameaçada que a outra. Além disso, a vantagem no uso de aves marinhas como sentinelas, é que ao contrário dos peixes ou mamíferos marinhos, as aves passam um tempo importante fora da água, sendo um importante conector entre os sistema terra-mar, podendo fornecer informações sobre biotransporte por meio do guano e/ou penas de metais biodisponíveis no ambiente marinho para ambientes terrestres.

Por fim, compreende-se que para uma avaliação exata das fontes dos metais e metaloides em pesquisas futuras é necessário realizar o estudo da composição isotópica desses elementos, para que assim possamos inferir com segurança a origem dos elementos na biota marinha e a real influência das atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural.

6. REFERÊNCIAS

- ABBASI, A. M. et al. Health risk assessment and multivariate apportionment of trace metals in wild leafy vegetables from Lesser Himalayas, Pakistan. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 92, p. 237–244, 1 jun. 2013.
- AKINLUA, A.; SMITH, R. M. Subcritical water extraction of trace metals from petroleum source rock. **Talanta**, v. 81, n. 4–5, p. 1346–1349, 15 jun. 2010.
- ALARCN, P. A. et al. Diet of the neotropical cormorant (*Phalacrocorax brasilianus*) in a patagonian freshwater environment invaded by exotic fish. **Waterbirds**, v. 35, n. 1, p. 149–153, mar. 2012.
- ALI, M. F.; ABBAS, S. A review of methods for the demetallization of residual fuel oils. **Fuel Processing Technology**, 1 jul. 2006. Acesso em: 1 jun. 2022.
- ALOMAR, H. et al. Concentrations of organochlorine compounds (pesticides and PCBs), trace elements (Pb, Cd, Cu, and Hg), ¹³⁴Cs, and ¹³⁷Cs in the livers of the European otter (*Lutra lutra*), great cormorant (*Phalacrocorax carbo*), and European catfish (*Silurus glanis*), collec. **European Journal of Wildlife Research**, v. 62, n. 6, p. 653–661, 2016.
- ALVES, V. S. et al. Padrão de ocorrência e distribuição de biguás *Phalacrocorax brasilianus* na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 19, n. 4, p. 469–477, 2011.
- AMLUND, H.; BERNTSSSEN, M. H. Arsenobetaine in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): Influence of seawater adaptation. **Comparative Biochemistry and Physiology - C Toxicology and Pharmacology**, v. 138, n. 4, p. 507–514, 1 ago. 2004.
- ANDERSON, O. R. J. et al. Element patterns in albatrosses and petrels: Influence of trophic position, foraging range, and prey type. **Environmental Pollution**, v. 158, n. 1, p. 98–107, 1 jan. 2010.
- ARAÚJO RODRIGUES, L.; LUÍS SAUER, I. Exploratory assessment of the economic gains of a pre-salt oil field in Brazil. **Energy Policy**, v. 87, p. 486–495, 1 dez. 2015.
- ARNOLD, J. M.; BRAULT, S.; CROXALL, J. P. Albatross populations in peril: A population trajectory for Black-browed Albatrosses at South Georgia. **Ecological Applications**, v. 16, n. 1, p. 419–432, fev. 2006.
- ASCHNER, M. et al. Manganese: Recent advances in understanding its transport and neurotoxicity. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 221, n. 2, p. 131–147, 1 jun. 2007.
- BALDASSIN, P.; GALLO, H.; BARBOSA, C. B. Serum biochemistry of an, atlantic Yellow-Nosed Albatross *Thalassarche chlororhynchos* (Gmelin, 1789). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 59, n. 2, p. 541–542, 2007.
- BARBIERI, E. et al. Heavy metal concentration in tissues of *Puffinus gravis* sampled on the Brazilian coast. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 15, n. 1, p. 69–72, 2007.
- BARBIERI, E. et al. Heavy metal concentration in tissues of *Puffinus gravis* sampled on the Brazilian coast. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 15, n. 1, p. 69–72, 2007.
- BARCELOUX, D. G. barceloux1999. **Clinical Toxicology**, p. 265–278, 1999.
- BARQUETE, V.; BUGONI, A. L.; VOOREN, A. C. M. Diet of Neotropic cormorant (*Phalacrocorax brasilianus*) in an estuarine environment. **Marine Biology**, v. 153, n. 3, p. 431–443, 2008.

- BASSO, M. et al. Sedimentology and petrophysical analysis of pre-salt lacustrine carbonate reservoir from the Santos Basin, southeast Brazil. **International Journal of Earth Sciences**, v. 110, n. 7, p. 2573–2595, 1 out. 2021.
- BEEBY, A. What do sentinels stand for? **Environmental Pollution**, v. 112, n. 2, p. 285–298, 1 abr. 2001.
- BINKOWSKI, Ł. J.; STAWARZ, R. M.; ZAKRZEWSKI, M. Concentrations of cadmium, copper and zinc in tissues of mallard and coot from southern Poland. **Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, v. 48, n. 5, p. 410–415, 2013.
- Bird Life**. Disponível em: <<http://datazone.birdlife.org/species/factsheet/atlantic-yellow-nosed-albatross-thalassarche-chlororhynchos>>. Acesso em: 6 jun. 2022.
- BISHOP, C. A. et al. Contaminant concentrations and biomarkers in 21-day old Herring Gulls (*Larus argentatus*) and Double-crested Cormorants (*Phalacrocorax auritus*) from eastern Lake Ontario, and from Hamilton Harbour in western Lake Ontario in 1989 and 1990. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, v. 19, n. 2, p. 181–191, 2 abr. 2016.
- BLACKMORE, G. Interspecific variation in heavy metal body concentrations in Hong Kong marine invertebrates. **Environmental Pollution**, v. 114, n. 3, p. 303–311, 1 out. 2001.
- BOCHER, P. et al. Influence of the diet on the bioaccumulation of heavy metals in zooplankton-eating petrels at Kerguelen archipelago, Southern Indian Ocean. **Polar Biology**, v. 26, n. 12, p. 759–767, 2003.
- BRIFFA, J.; SINAGRA, E.; BLUNDELL, R. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. **Heliyon**, 1 set. 2020. Acesso em: 1 jun. 2022.
- BUGONI, L. et al. Seabird bycatch in the Brazilian pelagic longline fishery and a review of capture rates in the southwestern Atlantic Ocean. **Endangered Species Research**, 23 set. 2008.
- BURGER, J. A risk assessment for lead in birds. **Journal of Toxicology and Environmental Health**, v. 45, n. 4, p. 369–396, 1995.
- BURGER, J. et al. Mercury and other metals in eggs and feathers of glaucous-winged gulls (*Larus glaucescens*) in the Aleutians. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 152, n. 1–4, p. 179–194, 2009.
- BURGER, J.; GOCHFELD, M. Marine Birds as Sentinels of Environmental Pollution. **EcoHealth**, v. 1, n. 3, p. 263–274, 28 maio 2004.
- CABRAL, L. et al. Microbial communities in petroleum-contaminated sites: Structure and metabolisms. **Chemosphere**. 1 jan. 2022. Acesso em: 28 maio. 2022
- CAMPIONI, L.; GRANADEIRO, J. P.; CATRY, P. Niche segregation between immature and adult seabirds: Does progressive maturation play a role? **Behavioral Ecology**, v. 27, n. 2, p. 426–433, 1 jan. 2016.
- CARRAVIERI, A. et al. Penguins as bioindicators of mercury contamination in the Southern Ocean: Birds from the Kerguelen Islands as a case study. **Science of the Total Environment**, v. 454–455, p. 141–148, 1 jun. 2013.
- CASTRO, M. F. et al. Seabirds enrich Antarctic soil with trace metals in organic fractions. **Science of the Total Environment**, v. 785, p. 147271, 1 set. 2021.

- CESA, M. et al. Implementation of an active “bryomonitoring” network for chemical status and temporal trend assessment under the Water Framework Directive in the Chiampo Valley’s tannery district (NE Italy). **Journal of Environmental Management**, v. 114, p. 303–315, 15 jan. 2013.
- CHEREL, Y. et al. Accumulate or eliminate? Seasonal mercury dynamics in albatrosses, the most contaminated family of birds. **Environmental Pollution**, v. 241, p. 124–135, 1 out. 2018.
- CHEREL, Y.; WEIMERSKIRCH, H.; TROUVÉ, C. Food and feeding ecology of the neritic-slope forager black-browed albatross and its relationships with commercial fisheries in Kerguelen waters. **Marine Ecology Progress Series**, v. 207, p. 183–199, 22 nov. 2000.
- CHRISTIAN FRANSON, J. et al. Copper pellets simulating oral exposure to copper ammunition: Absence of toxicity in American kestrels (*Falco sparverius*). **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 62, n. 1, p. 145–153, 22 jan. 2012.
- CIPRO, C. V. et al. Persistent organic pollutants in bird, fish and invertebrate samples from King George Island, Antarctica. **Antarctic Science**, v. 25, n. 4, p. 545–552, 2013.
- CIPRO, C. V. Z. et al. Trace elements in tissues of white-chinned petrels (*Procellaria aequinoctialis*) from Kerguelen waters, Southern Indian Ocean. **Polar Biology**, v. 37, n. 6, p. 763–771, 2014.
- COSTA, R. A. et al. Persistent organic pollutants and inorganic elements in the Balearic shearwater *Puffinus mauretanicus* wintering off Portugal. **Marine Pollution Bulletin**, v. 108, n. 1–2, p. 311–316, 15 jul. 2016.
- CUTHBERT, R. et al. Demography and Population Trends of the Atlantic Yellow-Nosed Albatross. **The Condor**, v. 105, n. 3, p. 439–452, 1 ago. 2003.
- DA ROCHA FRAGOSO, M. et al. Ocean Dynamics Theoretical, Computational and Observational Oceanography A 4D-variational ocean data assimilation application for Santos Basin, Brazil A 4D-variational ocean data assimilation application for Santos Basin, Brazil. **Ocean Dynamics**, v. 66, n. 3, p. 419–434, 2016.
- DE ANDRÉS, M.; BARRAGÁN, J. M.; SCHERER, M. Urban centres and coastal zone definition: Which area should we manage? **Land Use Policy**, v. 71, p. 121–128, 1 fev. 2018.
- DE SOUZA, R. M. et al. Determination of Mo, Zn, Cd, Ti, Ni, V, Fe, Mn, Cr and Co in crude oil using inductively coupled plasma optical emission spectrometry and sample introduction as detergentless microemulsions. **Microchemical Journal**. 1 abr. 2006. Acesso em: 1 jun. 2022
- DEHEYN, D. D. et al. Evidence for enhanced bioavailability of trace elements in the marine ecosystem of Deception Island, a volcano in Antarctica. **Marine Environmental Research**, v. 60, n. 1, p. 1–33, 1 jul. 2005.
- DURANTE, C. A. et al. Trace elements in trophic webs from South Atlantic: The use of cetaceans as sentinels. **Marine Pollution Bulletin**, v. 150, p. 110674, 1 jan. 2020.
- ELIAS, L. P. et al. In situ fractionation and redox speciation of arsenic in soda lakes of Nhecolândia (Pantanal, Brazil) using the diffusive gradients in thin films (DGT) technique. **Chemosphere**, v. 288, p. 132592, 1 fev. 2022.
- ELLIOTT, J. E. et al. Heavy metal and metallothionein concentrations in Atlantic Canadian seabirds. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 22, n. 1, p. 63–73, jan. 1992.

- ELLIOTT, J. E. Trace metals, stable isotope ratios, and trophic relations in seabirds from the north pacific ocean. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 24, n. 12, p. 3099–3105, 2005.
- ELLIOTT, J. E.; ELLIOTT, K. H. Tracking marine pollution. **Science**, v. 340, n. 6132, p. 556–558, 2013.
- EPA, U. S. Method 245.7, Mercury in Water by Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry, Revision 2.0. **Science And Technology**, n. February, 2005.
- EPA. **Method 3052: Microwave Assisted Acid Digestion of Siliceous and Organically Based Matrices**, Washington, DC, 2007b.
- EPA. **Method 6020A: Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry**. Washington, DC, 1996.
- EPA. Method 7474: MERCURY IN SEDIMENT AND TISSUE SAMPLES. **US Environmental Protection Agency**, n. February, p. 1–19, 2007a.
- EWBANK, A. C. et al. Seabirds as anthropization indicators in two different tropical biotopes: A One Health approach to the issue of antimicrobial resistance genes pollution in oceanic islands. **Science of the Total Environment**, v. 754, p. 142141, 1 fev. 2021.
- FARIAS, F. et al. Evaporitic carbonates in the pre-salt of Santos Basin – Genesis and tectonic implications. **Marine and Petroleum Geology**, v. 105, p. 251–272, 1 jul. 2019.
- FINKELSTEIN, M. E.; GWIAZDA, R. H.; SMITH, D. R. Lead poisoning of seabirds: Environmental risks from leaded paint at a decommissioned military base. **Environmental Science and Technology**, v. 37, n. 15, p. 3256–3260, 2003.
- FISHER, I. J.; PAIN, D. J.; THOMAS, V. G. A review of lead poisoning from ammunition sources in terrestrial birds. **Biological Conservation**, v. 131, n. 3, p. 421–432, 1 ago. 2006.
- FORT, J. et al. Mercury in wintering seabirds, an aggravating factor to winter wrecks? **Science of the Total Environment**, v. 527–528, p. 448–454, 15 set. 2015.
- FU, J. et al. Risk and toxicity assessments of heavy metals in sediments and fishes from the Yangtze River and Taihu Lake, China. **Chemosphere**, v. 93, n. 9, p. 1887–1895, 1 nov. 2013.
- FUJIHARA, J. et al. Arsenic accumulation and distribution in tissues of black-footed albatrosses. **Marine Pollution Bulletin**, v. 48, n. 11–12, p. 1153–1160, 1 jun. 2004.
- FUJIHARA, J. et al. Arsenic accumulation in livers of pinnipeds, seabirds and sea turtles: Subcellular distribution and interaction between arsenobetaine and glycine betaine. **Comparative Biochemistry and Physiology - C Toxicology and Pharmacology**, v. 136, n. 4, p. 287–296, 1 dez. 2003.
- FURTADO, R. et al. Trace elements' reference levels in blood of breeding black-browed albatrosses *Thalassarche melanophris* from the Falkland Islands. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 31, p. 39265–39273, 1 nov. 2020.
- GALARRAGA, F. et al. V/Ni ratio as a parameter in palaeoenvironmental characterisation of nonmature medium-crude oils from several Latin American basins. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 61, n. 1, p. 9–14, 1 abr. 2008.
- GALVAO, P. et al. An upwelling area as a hot spot for mercury biomonitoring in a climate change scenario: A case study with large demersal fishes from Southeast Atlantic (SE-Brazil). **Chemosphere**, v. 269, p. 128718, 1 abr. 2021.

- GANESAN, M. et al. Bioremediation by oil degrading marine bacteria: An overview of supplements and pathways in key processes. **Chemosphere**, v. 303, p. 134956, 1 set. 2022.
- GHELER-COSTA, C. et al. Foraging behavior of Brazilian cormorant, *Nannopterum brasilianus* (Suliformes: Phalacrocoracidae). **Zoologia**, v. 35, 2018.
- GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, D. et al. Source and fate of heavy metals in marine sediments from a semi-enclosed deep embayment subjected to severe anthropogenic activities. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 221, n. 1–4, p. 191–202, 24 out. 2011.
- GUEVARA, E. A. et al. Population growth and seasonal abundance of the neotropic cormorant (*Phalacrocorax brasilianus*) at Highland Lakes in Ecuador. **Waterbirds**, v. 34, n. 4, p. 499–503, dez. 2011.
- HAKANSON, L. An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach. **Water Research**, v. 14, n. 8, p. 975–1001, 1 jan. 1980.
- HERNÁNDEZ-MORENO, D. et al. Heavy Metals Content in Great Shearwater (*Ardenna Gravis*): Accumulation, Distribution and Biomarkers of Effect in Different Tissues. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 80, n. 3, p. 615–623, 2021.
- IRENA, H. 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, p. 533–541, 2017.
- JAIN, C. K. Metal fractionation study on bed sediments of River Yamuna, India. **Water Research**, v. 38, n. 3, p. 569–578, 1 fev. 2004.
- JEREZ, S. et al. Distribution of metals and trace elements in adult and juvenile penguins from the Antarctic Peninsula area. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 20, n. 5, p. 3300–3311, 1 maio 2013.
- KALMBACH, E.; BECKER, P. H. Growth and survival of neotropic cormorant (*Phalacrocorax brasilianus*) chicks in relation to hatching order and brood size. **Journal of Ornithology**, v. 146, n. 2, p. 91–98, 15 abr. 2005.
- KAMMERER, M. et al. Liver and kidney concentrations of vanadium in oiled seabirds after the Erika wreck. **Science of The Total Environment**, v. 333, n. 1–3, p. 295–301, 15 out. 2004.
- KIM, E. Y. et al. Distribution of 14 elements in tissues and organs of oceanic seabirds. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 35, n. 4, p. 638–645, 1998.
- KIM, J.; OH, J. M. Heavy metal concentrations in Black-tailed Gull (*Larus crassirostris*) chicks, Korea. **Chemosphere**, v. 112, p. 370–376, 1 out. 2014.
- KING, M. D.; ELLIOTT, J. E.; WILLIAMS, T. D. Effects of petroleum exposure on birds: A review. **Science of the Total Environment**. 10 fev. 2021a. Acesso em: 8 maio. 2022
- KITOWSKI, I. et al. Factors affecting trace element accumulation in livers of avian species from East Poland. **Turkish Journal of Zoology**, v. 41, n. 5, p. 901–913, 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**, v. 52, n. 3, p. 418–430, 2007.
- KORBECKI, J. et al. Lead (Pb) in the tissues of anatidae, ardeidae, sternidae and laridae of the northern hemisphere: A review of environmental studies. **Environmental Science and**

Pollution Research, 1 maio 2019. Disponível em:

<<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-019-04799-7>>. Acesso em: 1 maio. 2022

KUBOTA, R.; KUNITO, T.; TANABE, S. Occurrence of several arsenic compounds in the liver of birds, cetaceans, pinnipeds, and sea turtles. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 22, n. 6, p. 1200–1207, 2003.

KUBOTA, R.; KUNITO, T.; TANABE, S. Occurrence of several arsenic compounds in the liver of birds, cetaceans, pinnipeds, and sea turtles. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 22, n. 6, p. 1200–1207, 2003.

KUNITO, T. et al. Arsenic in marine mammals, seabirds, and sea turtles. **Reviews of environmental contamination and toxicology**, 2008. Acesso em: 2 maio. 2022

LEMOS, L. S. et al. Small cetaceans found stranded or accidentally captured in southeastern Brazil: Bioindicators of essential and non-essential trace elements in the environment. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 97, p. 166–175, 1 nov. 2013.

LI, D. et al. Bioaccumulation and human health risk assessment of trace metals in the freshwater mussel *Cristaria plicata* in Dongting Lake, China. **Journal of Environmental Sciences (China)**, v. 104, p. 335–350, 1 jun. 2021.

LIMA, G. et al. Mercury Concentration in Liver Tissues of South American Fur Seals (*Arctocephalus australis*) from Southwestern Atlantic Ocean. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 33, p. 1309-1318, 2022.

LIMA, G. et al. Waterbirds as Cadmium sentinels on the Brazilian coast: A review. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, 00(0): 0-0, 2023.

LÓPEZ, L. et al. V Ni ratio in maltene and asphaltene fractions of crude oils from the west Venezuelan basin: correlation studies. **Chemical Geology**, v. 119, n. 1–4, p. 255–262, 5 jan. 1995.

LOURENÇO, R. A. et al. Bioaccumulation Study of Produced Water Discharges from Southeastern Brazilian Offshore Petroleum Industry Using Feral Fishes. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 74, n. 3, p. 461–470, 1 abr. 2018.

MACDONALD, R. W. et al. Contaminants in the Canadian Arctic: 5 years of progress in understanding sources, occurrence and pathways. **Science of the Total Environment**, v. 254, n. 2–3, p. 93–234, 1 jun. 2000.

MACKLEY, E. K. et al. Free as a bird? Activity patterns of albatrosses during the nonbreeding period. **Marine Ecology Progress Series**, v. 406, p. 291–303, 10 maio 2010.

MACMILLAN, G. A. et al. Age-specific trace element bioaccumulation in grey seals from the Gulf of St. Lawrence. **Chemosphere**, v. 294, p. 133640, 1 maio 2022.

MAKHADO, A. B. et al. Foraging behaviour and habitat use by Indian Yellow-nosed Albatrosses (*Thalassarche carteri*) breeding at Prince Edward Island. **Emu**, v. 118, n. 4, p. 353–362, 2 out. 2018.

MALLORY, C. D. et al. Hepatic trace element concentrations of breeding female common eiders across a latitudinal gradient in the eastern Canadian Arctic. **Marine Pollution Bulletin**, v. 124, n. 1, p. 252–257, 15 nov. 2017.

MALLORY, M. L. et al. Seabirds as indicators of aquatic ecosystem conditions: A case for gathering multiple proxies of seabird health. **Marine Pollution Bulletin**, v. 60, n. 1, p. 7–12, 1 jan. 2010.

- MANDAL, B. K.; SUZUKI, K. T. Arsenic round the world: A review. **Talanta**, 16 ago. 2002. Acesso em: 10 maio. 2022
- MAO, H.-T. et al. Temporal and spatial biomonitoring of atmospheric heavy metal pollution using moss bags in Xichang. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 239, p. 113688, 1 jul. 2022.
- MARIANO-JELICICH, R. et al. Contribution of fishery discards to the diet of the Black-browed albatross (*Thalassarche melanophris*) during the non-breeding season: An assessment through stable isotope analysis. **Marine Biology**, v. 161, n. 1, p. 119–129, jan. 2014.
- MARTINEZ-HARO, M.; GREEN, A. J.; MATEO, R. Effects of lead exposure on oxidative stress biomarkers and plasma biochemistry in waterbirds in the field. **Environmental Research**, v. 111, n. 4, p. 530–538, 1 maio 2011.
- MENDEL, R. R.; BITTNER, F. Cell biology of molybdenum. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Cell Research**, v. 1763, n. 7, p. 621–635, 1 jul. 2006.
- MERGLER, D. et al. Methylmercury exposure and health effects in humans: A worldwide concern. **Ambio**, fev. 2007.
- MIRLEAN, N. et al. Arsenic enrichment in shelf and coastal sediment of the Brazilian subtropics. **Continental Shelf Research**, v. 35, p. 129–136, 1 mar. 2012.
- MIRLEAN, N. et al. Coralline algae and arsenic fixation in near shore sediments. **Regional Studies in Marine Science**, v. 3, p. 83–88, 1 jan. 2016.
- MIRLEAN, N. et al. Sandy beaches contamination by arsenic, a result of nearshore sediment diagenesis and transport (Brazilian coastline). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 135, p. 241–247, 20 dez. 2013.
- MOCHIZUKI, M. et al. A new index for evaluation of cadmium pollution in birds and mammals. **Environmental monitoring and assessment**, v. 137, n. 1, p. 35–49, 2008.
- MOCHIZUKI, M. et al. An Innovative Approach to Biological Monitoring Using Wildlife. In: **Environmental Monitoring**. p. 157–168, 2011.
- MOCHIZUKI, M. et al. Contents of various elements in the organs of seabirds killed by an oil spill around Tsushima Island, Japan. **Journal of Veterinary Medical Science**, v. 75, n. 5, p. 667–670, 2013.
- MOCHIZUKI, M. et al. The distribution of molybdenum in the tissues of wild ducks. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 77, n. 2, p. 155–161, 2002.
- MOCHIZUKI, M. et al. Vanadium contamination and the relation between vanadium and other elements in wild birds. **Environmental Pollution**, v. 106, n. 2, p. 249–251, 1 ago. 1999.
- MORENO, R. et al. Seabird feathers as monitors of the levels and persistence of heavy metal pollution after the Prestige oil spill. **Environmental Pollution**, v. 159, n. 10, p. 2454–2460, 1 out. 2011.
- MOURA, J. F. et al. Interspecific variation of essential and non-essential trace elements in sympatric seabirds. **Environmental Pollution**, v. 242, p. 470–479, 1 nov. 2018.
- MUIRHEAD, S. J.; FURNESS, R. W. Heavy metal concentrations in the tissues of seabirds from Gough Island, South Atlantic Ocean. **Marine Pollution Bulletin**, v. 19, n. 6, p. 278–283, 1988.

- NAM, D. H. et al. Specific accumulation of 20 trace elements in great cormorants (*Phalacrocorax carbo*) from Japan. **Environmental Pollution**, v. 134, n. 3, p. 503–514, 1 abr. 2005.
- NEVES, TATIANA. et al. **Aves oceânicas e suas interações com a pesca na Região Sudeste-Sul do Brasil**. [s.l.] [Instituto Oceanográfico - USP], 2006. p. 37–67
- NEWTH, J. L. et al. Poisoning from lead gunshot: Still a threat to wild waterbirds in Britain. **European Journal of Wildlife Research**, v. 59, n. 2, p. 195–204, 1 abr. 2013.
- NKWOJI, J. A.; UGBANA, S. I.; INA-SALWANY, M. Y. Impacts of land-based pollutants on water chemistry and benthic macroinvertebrates community in a coastal lagoon, Lagos, Nigeria. **Scientific African**, v. 7, p. e00220, 1 mar. 2020.
- NUNES, G. T. et al. Ecological trap for seabirds due to the contamination caused by the Fundação dam collapse, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 807, p. 151486, 10 fev. 2022.
- NYGÅRD, T. et al. Metal Dynamics in an Antarctic Food Chain. **Marine Pollution Bulletin**, v. 42, n. 7, p. 598–602, 1 jul. 2001.
- OCHIENG, E. Z.; LALAH, J. O.; WANDIGA, S. O. Anthropogenic sources of heavy metals in the Indian ocean coast of Kenya. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 83, n. 4, p. 600–607, 7 out. 2009.
- OLUKOSI, O. A.; VAN KUIJK, S.; HAN, Y. Copper and zinc sources and levels of zinc inclusion influence growth performance, tissue trace mineral content, and carcass yield of broiler chickens. **Poultry Science**, v. 97, n. 11, p. 3891–3898, 1 nov. 2018.
- ØVERJORDET, I. B. et al. Effect of diet, location and sampling year on bioaccumulation of mercury, selenium and cadmium in pelagic feeding seabirds in Svalbard. **Chemosphere**, v. 122, p. 14–22, 1 mar. 2015.
- PEDROBOM, J. H. et al. Intraspecific variation of trace elements in the kelp gull (*Larus dominicanus*): influence of age, sex and location. **Heliyon**, v. 7, n. 1, p. e05994, 1 jan. 2021.
- PEREIRA, P. et al. Separating black-browed albatross *Thalassarche melanophris* and atlantic yellow-nosed albatross *Thalassarche chlororhynchos* by osteological morphometric analysis. **Marine Ornithology**, v. 47, n. 1, p. 139–148, 2019.
- PETRY, M. V.; FONSECA, V. S. D. S.; SCHERER, A. L. Analysis of stomach contents from the black-browed albatross, *Thalassarche melanophris*, on the Coast of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. **Polar Biology**, v. 30, n. 3, p. 321–325, 2 fev. 2007.
- PHILLIPS, R. A. et al. The conservation status and priorities for albatrosses and large petrels. **Biological Conservation**, v. 201, p. 169–183, 1 set. 2016.
- POLCK, M. A. DOS R. et al. †*Ellimma longipectoralis* sp. nov. (Teleostei: Clupeomorpha: †*Ellimmichthyiformes*) from the Aptian of the Santos Basin, southeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 98, p. 102318, 1 mar. 2020.
- PONCHON, A. et al. Effect of breeding performance on the distribution and activity budgets of a predominantly resident population of black-browed albatrosses. **Ecology and Evolution**, v. 9, n. 15, p. 8702–8713, 1 ago. 2019.
- PRABHAKARAN, K. et al. Biomonitoring of Malaysian aquatic environments: A review of status and prospects. **Ecohydrology & Hydrobiology**, v. 17, n. 2, p. 134–147, 1 abr. 2017.

- PROVENCHER, J. F. et al. Polycyclic aromatic compounds (PACs) and trace elements in four marine bird species from northern Canada in a region of natural marine oil and gas seeps. **Science of the Total Environment**, v. 744, p. 140959, 20 nov. 2020.
- PROVENCHER, J. F. et al. Trace element concentrations and gastrointestinal parasites of Arctic terns breeding in the Canadian High Arctic. **Science of The Total Environment**, v. 476–477, p. 308–316, 1 abr. 2014.
- QUINTANA, A.; SORIA, G. Diving behavior and foraging areas of the neotropic cormorant at a marine colony in patagonia, Argentina. **Wilson Bulletin**, v. 116, n. 1, p. 83–88, 2004.
- RAMOS, R.; RAMÍREZ, F.; JOVER, L. Trophodynamics of inorganic pollutants in a wide-range feeder: The relevance of dietary inputs and biomagnification in the Yellow-legged gull (*Larus michahellis*). **Environmental Pollution**, v. 172, p. 235–242, 1 jan. 2013.
- REDWAN, M.; ELHADDAD, E. Heavy metal pollution in Manzala Lake sediments, Egypt: sources, variability, and assessment. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, n. 6, p. 1–16, 17 maio 2022.
- REIMANN, C. et al. Arsenic distribution in the environment: The effects of scale. **Applied Geochemistry**, v. 24, n. 7, p. 1147–1167, 1 jul. 2009.
- ROBERTSON, G. et al. Black-browed albatross numbers in Chile increase in response to reduced mortality in fisheries. **Biological Conservation**, v. 169, p. 319–333, 1 jan. 2014.
- RODRIGUES, P. et al. Sex determination of Neotropic cormorant (*Phalacrocorax brasilianus*) by molecular sexing. **Avian Biology Research**, v. 12, n. 1, p. 10–12, 1 jan. 2019.
- ROLLAND, V.; BARBRAUD, C.; WEIMERSKIRCH, H. Combined effects of fisheries and climate on a migratory long-lived marine predator. **Journal of Applied Ecology**, v. 45, n. 1, p. 4–13, 1 fev. 2008.
- ROMAN, L. et al. Plastic, nutrition and pollution; relationships between ingested plastic and metal concentrations in the livers of two *Pachyptila* seabirds. **Scientific Reports 2020 10:1**, v. 10, n. 1, p. 1–14, 22 out. 2020.
- SAEKI, K. et al. Mercury and cadmium in common cormorants (*Phalacrocorax carbo*). **Environmental Pollution**, v. 108, n. 2, p. 249–255, 1 maio 2000.
- SCHEUHAMMER, A. et al. Recent progress on our understanding of the biological effects of mercury in fish and wildlife in the Canadian Arctic. **Science of the Total Environment**, 15 mar. 2015. Acesso em: 1 maio. 2022
- SECO PON, J. P. et al. Trace metals (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, and Zn) in feathers of Black-browed Albatross *Thalassarche melanophrys* attending the Patagonian Shelf. **Marine Environmental Research**, v. 72, n. 1–2, p. 40–45, 1 jul. 2011.
- SECO, J. et al. Mercury biomagnification in a Southern Ocean food web. **Environmental Pollution**, v. 275, p. 116620, 15 abr. 2021.
- SHORE, R. F. et al. Mercury in Nonmarine Birds and Mammals. In: **Environmental Contaminants in Biota**. [s.l.] CRC Press, 2011. p. 609–626.
- SKORIC, S. et al. Accumulation of 20 elements in great cormorant (*Phalacrocorax carbo*) and its main prey, common carp (*Cyprinus carpio*) and Prussian carp (*Carassius gibelio*). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 80, p. 244–251, 1 jun. 2012.

- SMITS, J. E. G.; FERNIE, K. J. Avian wildlife as sentinels of ecosystem health. **Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases**, v. 36, n. 3, p. 333–342, 1 maio 2013.
- SOARES, E. C. et al. Oil impact on the environment and aquatic organisms on the coasts of the states of Alagoas and Sergipe, Brazil - A preliminary evaluation. **Marine Pollution Bulletin**, v. 171, p. 112723, 1 out. 2021.
- SOARES, M. DE O. et al. Oil spill in South Atlantic (Brazil): Environmental and governmental disaster. **Marine Policy**, v. 115, p. 103879, 1 maio 2020.
- STANTON, N. et al. A geophysical view of the Southeastern Brazilian margin at Santos Basin: Insights into rifting evolution. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 55, p. 141–154, 1 nov. 2014.
- STEWART, F. M.; FURNESS, R. W.; MONTEIRO, L. R. Relationships between heavy metal and metallothionein concentrations in lesser black-backed gulls, *Larus fuscus*, and Cory's shearwater, *Calonectris diomedea*. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 30, n. 3, p. 299–305, 1996.
- STEWART, F. M.; MONTEIRO, L. R.; FURNESS, R. W. Heavy metal concentrations in Cory's shearwater, *Calonectris diomedea*, fledglings from the Azores, Portugal. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 58, n. 1, p. 115–122, 1997.
- SUJAU, I. M. et al. Effect of industrial pollution on the spatial variation of surface water quality. **American Journal of Environmental Sciences**, v. 9, n. 2, p. 120–129, 2013.
- SULATO, E. T. et al. Metals and metalloids in green turtle hepatic tissue (*Chelonia mydas*) from Santos Basin, Brazil. **Environmental Research**, v. 203, p. 111835, 1 jan. 2022.
- SULLIVAN, B. J.; REID, T. A.; BUGONI, L. Seabird mortality on factory trawlers in the Falkland Islands and beyond. **Biological Conservation**, v. 131, n. 4, p. 495–504, 1 set. 2006.
- SUMMERS, C. F. et al. Lead and Cadmium in the Blood of Nine Species of Seabirds, Marion Island, South Africa. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 93, n. 4, p. 417–422, 1 out. 2014.
- SUN, C. et al. Trace metal pollution and carbon and nitrogen isotope tracing through the Yongdingxin River estuary in Bohai Bay, Northern China. **Marine Pollution Bulletin**, v. 115, n. 1–2, p. 451–458, 15 fev. 2017.
- TAVARES, S. et al. Influence of age, sex and breeding status on mercury accumulation patterns in the wandering albatross *Diomedea exulans*. **Environmental Pollution**, v. 181, p. 315–320, 1 out. 2013.
- THOMPSON, D. R.; FURNESS, R. W.; LEWIS, S. A. Temporal and spatial variation in mercury concentrations in some albatrosses and petrels from the sub-Antarctic. **Polar Biology** 1993 13:4, v. 13, n. 4, p. 239–244, maio 1993.
- VALLVERDÚ-COLL, N. et al. Immunotoxic effects of lead on birds. **Science of the Total Environment**, 1 nov. 2019. Acesso em: 1 maio. 2022
- VIANA, J. L. M. et al. In situ arsenic speciation at the soil/water interface of saline-alkaline lakes of the Pantanal, Brazil: A DGT-based approach. **Science of the Total Environment**, v. 804, p. 150113, 15 jan. 2022.
- VIEIRA, L. H. et al. Benthic fluxes of trace metals in the Chukchi Sea and their transport into the Arctic Ocean. **Marine Chemistry**, v. 208, p. 43–55, 20 jan. 2019.

VIZUETE, J. et al. Heavy metals and metalloid levels in the tissues of yellow-legged gulls (*Larus michahellis*) from Spain: sex, age, and geographical location differences.

Environmental Science and Pollution Research, v. 1, p. 1–17, 17 mar. 2022.

WAKEFIELD, E. D. et al. Habitat preference, accessibility, and competition limit the global distribution of breeding Black-browed Albatrosses. **Ecological Monographs**, v. 81, n. 1, p. 141–167, 2011.

WANG, H. et al. Heavy Metals in Marine Surface Sediments of Daya Bay, Southern China: Spatial Distribution, Sources Apportionment, and Ecological Risk Assessment. **Frontiers in Environmental Science**, v. 9, p. 559, 17 dez. 2021.

WANG, W. X.; RAINBOW, P. S. Significance of metallothioneins in metal accumulation kinetics in marine animals. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 152, n. 1, p. 1–8, 1 jun. 2010.

WRIGHT, I. A.; RYAN, M. M. Impact of mining and industrial pollution on stream macroinvertebrates: importance of taxonomic resolution, water geochemistry and EPT indices for impact detection. **Hydrobiologia**, v. 772, n. 1, p. 103–115, 2016.

ZHOU, F.; GUO, H.; LIU, L. Quantitative identification and source apportionment of anthropogenic heavy metals in marine sediment of Hong Kong. **Environmental Geology**, v. 53, n. 2, p. 295–305, 6 out. 2007.