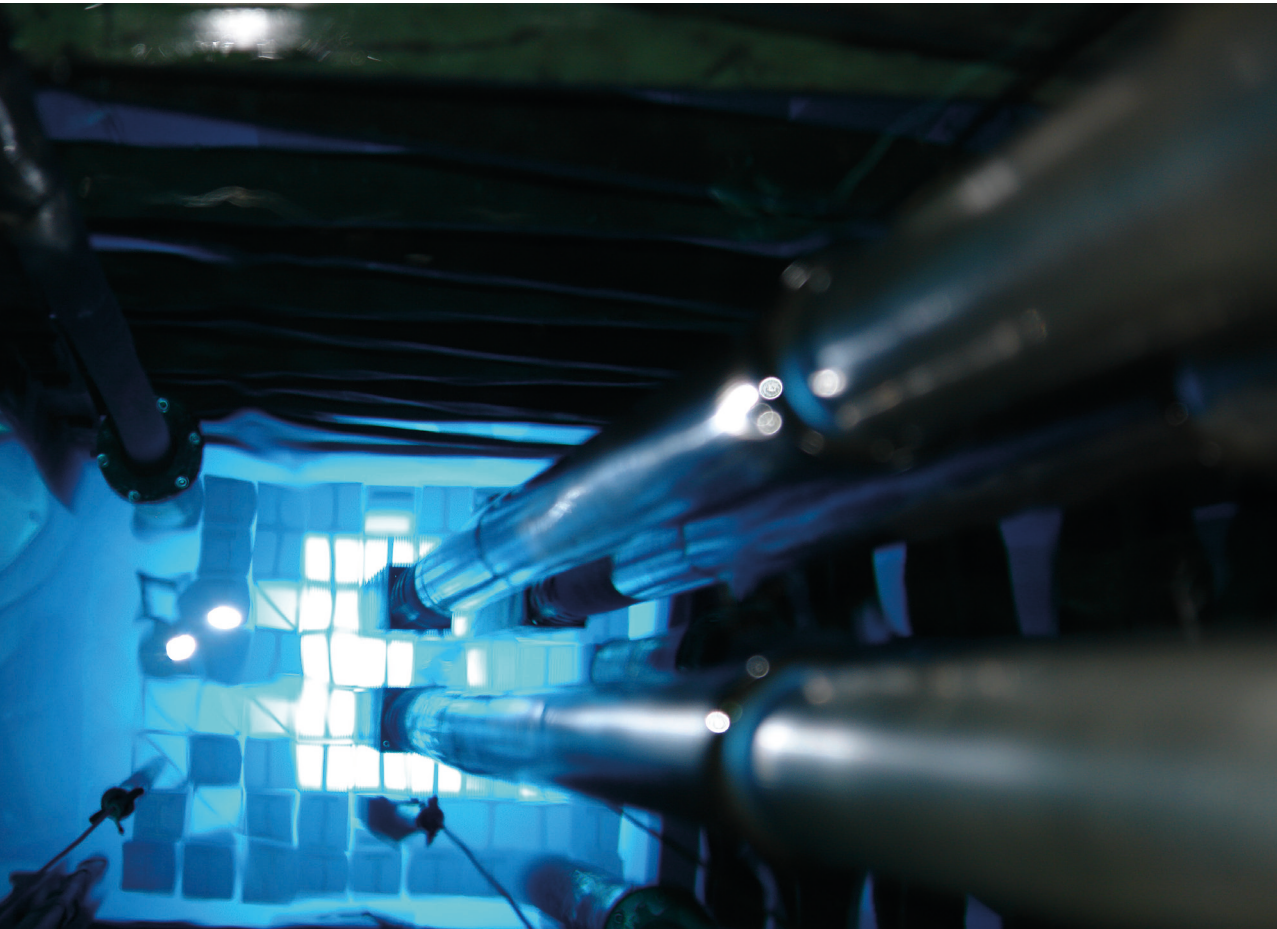


Paulo Sergio Cardoso Da Silva
Guilherme Soares Zahn
Francisco De Assis Souza
organizadores

CONTRIBUIÇÕES DO REATOR IEA-R1 PARA A PESQUISA NUCLEAR

WARP2: II Workshop Anual do Reator de Pesquisas



CONTRIBUIÇÕES DO
REATOR IEA-R1 PARA A
PESQUISA NUCLEAR

Conselho editorial

André Costa e Silva

Cecilia Consolo

Dijon de Moraes

Jarbas Vargas Nascimento

Luis Barbosa Cortez

Marco Aurélio Cremasco

Rogério Lerner

Blucher Open Access

PAULO SERGIO CARDOSO DA SILVA
GUILHERME SOARES ZAHN
FRANCISCO DE ASSIS SOUZA
(organizadores)

CONTRIBUIÇÕES DO
REATOR IEA-R1 PARA A
PESQUISA NUCLEAR
WARP2: II Workshop Anual do
Reator de Pesquisas

21 e 22 de novembro de 2019
Centro do Reator de Pesquisas
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

2022

Contribuições do Reator IEA-R1 para a Pesquisa Nuclear

WARP2: II Workshop Anual do Reator de Pesquisas

© 2022 Paulo Sergio Cardoso da Silva, Guilherme Soares Zahn e Francisco de Assis Souza

Editora Edgard Blücher Ltda.

Publisher Edgard Blücher

Editor Eduardo Blücher

Coordenação editorial Jonatas Eliakim

Produção editorial Thaís Costa

Diagramação Taís do Lago

Capa Laércio Flenic

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar
04531-934 – São Paulo – SP – Brasil
Tel 55 11 3078-5366
contato@blucher.com.br
www.blucher.com.br

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed.
do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*,
Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer
meios, sem autorização escrita da Editora.

Todos os direitos reservados pela Editora
Edgard Blücher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Angélica Ilacqua CRB-8/7057

Workshop anual do reator de pesquisas (2. : 2019 :
São Paulo)

Contribuições do reator IEA-R1 para a pesquisa
nuclear WARP 2 / organizado por Paulo Sergio Cardoso
da Silva, Guilherme Soares Zahn, Francisco de Assis
Souza. -- São Paulo : Blucher, 2022.

478 p : il.

21 e 22 de novembro de 2019 - Centro do Reator de
Pesquisas

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

Bibliografia

ISBN 978-65-5550-147-6 (impresso)

ISBN 978-65-5550-148-3 (eletrônico)

1. Pesquisa nuclear 2. Física nuclear I. Título II. Silva,
Paulo Sergio Cardoso da III. Zahn, Guilherme Soares IV.
Souza, Francisco de Assis IV. IPEN

21-5617

CDD 539.7

Índices para catálogo sistemático:

1. Pesquisa nuclear

COMITÊ ORGANIZADOR

Paulo Sergio Cardoso da Silva

Guilherme Soares Zahn

Francisco de Assis Souza

COMITÊ CIENTÍFICO

Paulo Sergio Cardoso da Silva

Guilherme Soares Zahn

Francisco de Assis Souza

Frederico Antônio Genezini

APOIO

O Comitê Organizador agradece o apoio do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), do Departamento de Ensino do IPEN e da Marinha do Brasil, para a realização do II Workshop Anual do Reator de Pesquisas.



QUANTIFICAÇÃO DE ELEMENTOS TÓXICOS E POTENCIALMENTE TÓXICOS EM AVES MARINHAS POR MEIO DA ANÁLISE POR ATIVAÇÃO NEUTRÔNICA INSTRUMENTAL

Carolina Y. S. Theophilo¹, Fernanda I. Colabuono², Rosalinda C. Montone², Rubens C. L. Figueira², Maria V. Petry³ e Edson G. Moreira¹

¹ Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN – CNEN/SP)
Av. Professor Lineu Prestes 2242
05508-000 São Paulo, SP
carolina.theophilo@gmail.com

²Instituto Oceanográfico – Universidade de São Paulo
Praça do Oceanográfico, 191
05508-120 São Paulo, SP

³Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos)
Av. Unisinos, 950
93020-190 São Paulo, RS

RESUMO

Existem elementos químicos que são necessários para a manutenção das vias metabólicas dos organismos, quando essenciais pequenas quantidades são suficientes, porém se os elementos estão em concentrações maiores do que as necessárias ou se não são essenciais podem acabar se acumulando no organismo e trazendo malefícios. O acúmulo desses elementos pode ocorrer nos organismos marinhos por meio da alimentação ou da contaminação ambiental e pode ser um grande problema, principalmente, para os indivíduos que possuem vida longa e que estão no topo da teia trófica, como é o caso de algumas aves marinhas. Como as aves marinhas são organismos sensíveis a mudanças no meio ambiente, sendo considerado um dos grupos de vertebrados mais ameaçados devido os impactos antrópicos causados nos oceanos, esse trabalho teve como objetivo quantificar Hg e Se em penas do Petrel-gigante-do-sul (*Macronectes giganteus*) e Br, Cl, Cu, K, Mg, Mn, Na e V em penas do Albatroz-de-sobrancelha-negra (*Thalassarche melanophris*) e da Pardela-preta (*Procellaria aequinoctialis*) por meio da INAA. As penas de Petrel-gigante-do-sul foram coletadas no Arquipélago das Shetland do Sul, Antártica, enquanto as penas da Pardela-preta e do Albatroz-de-sobrancelha-negra foram coletadas no sul do Brasil em parceria com o Projeto Albatroz. Nas penas do Petrel-gigante-do-sul as concentrações obtidas de mercúrio variaram entre 2,6 e 14,4 mg kg⁻¹, e a de Se, entre 1,5 e 10,4 mg kg⁻¹. As concentrações de Hg foram mais altas do que as encontradas em estudos similares, provavelmente essa alta concentração se deve a dieta dessa espécie que é composta por presas de níveis tróficos maiores. Enquanto os resultados obtidos nas penas da Pardela-preta e do Albatroz-de-sobrancelha-negra não foram mais altos que os de outros estudos encontrados na literatura, com exceção do Br. Também, não foram encontradas diferenças significativas entre as médias dos elementos encontradas nessas duas espécies.

1. INTRODUÇÃO

As aves marinhas são bastante sensíveis a mudanças no meio ambiente e a impactos cumulativos devido a sua grande longevidade [1], isso faz com que elas sejam o grupo de vertebrado mais ameaçado devido aos impactos causados nos oceanos por ações humanas. Ser sensível às alterações faz com que elas sejam comumente usadas para o monitoramento da poluição marinha [2]. Estudos ecológicos com indicadores biológicos são proeminentes em pesquisas de monitoramento do meio ambiente. Embora as variações físicas, químicas e biológicas

sejam características intrínsecas dos ecossistemas e os dados físico-químicos sejam indispensáveis para a avaliação das mudanças em um determinado ambiente, parâmetros biológicos podem fornecer informações mais detalhadas sobre o verdadeiro efeito das flutuações ambientais na vida dos organismos [3].

Nos estudos de monitoramento ambiental com aves, a pena é um dos principais tecidos para a quantificação de elementos químicos, isso porque é possível coletá-la das aves vivas causando um menor impacto aos indivíduos. Os elementos são depositados na pena a partir da corrente sanguínea durante o seu crescimento, alguns não ficam ligados estruturalmente, mas outros, como, por exemplo, o Hg, é ligado à queratina durante o crescimento das penas [4]. Além das penas serem uma matriz adequada para a quantificação de elementos, a pena é a maior rota de eliminação de Hg nas aves marinhas [5].

O Hg e outros elementos, como o Pb e Cd, não possuem função alguma no metabolismo, outros mesmo que essenciais, como, por exemplo, Cu, Na, K, Zn, em concentrações maiores que as necessárias acabam se tornando tóxicos [6,7]. Devido à importância da quantificação de elementos químicos em penas de aves, França e colegas [8] quantificaram dezoito elementos por meio da k0-INAA em penas de diferentes espécies de aves de distintos ecossistemas, e concluíram que os resultados por meio dessa técnica foram satisfatório e condizentes, eles encontraram altas concentrações de Hg, Cr, Ni e Sb na Lagoa Olho D'Água em Recife, um dos pontos de coleta mais poluídos. Haskins e colegas [9] fizeram um estudo comparativo com partes diferentes da mesma pena de Urubu-de-cabeça-vermelha (*Cathartes aura*), quantificaram As, Cr, Hg, Se e Sb por meio da INAA e ICP-MS e não observaram diferenças significativas entre os dois métodos.

Devido à importância da quantificação dos elementos químicos em penas de aves marinhas, esse trabalho teve como objetivo quantificar Hg e Se em penas de Petrel-gigante-do-sul (*Macronectes giganteus*) e Br, Cl, Cu, K, Mg, Mn, Na e V em penas do Albatroz-de-sobrancelha-negra (*Thalassarche melanophris*) e da Pardela-preta (*Procellaria aequinoctialis*). Essas três espécies pertencem a ordem dos Procellariiformes e as quantificações foram realizadas por meio da INAA.

Além da pena ser uma matriz adequada para a quantificação dos elementos de interesse, a INAA possui várias vantagens para essa análise. Segundo Movalli e colegas [10], a INAA é uma técnica adequada para quem não tem como substituir a amostra, como no caso de amostras de museus ou com a massa pequena, pois a INAA é um método não destrutível e pode utilizar massas muito pequenas para que seja realizada. Além disso, a INAA possui limites de detecção muito baixos, com alta sensibilidade e faz com que seja uma alternativa para a medição

de elementos traços e com uma única análise é possível determinar diversos elementos de uma vez [10].

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Coleta das amostras

Para a realização desse estudo, foram usados três tipos de penas de Petrel-gigante-do-sul (primária, secundária e dorsal), as penas primárias e secundárias do Petrel-gigante-do-sul foram fornecidas pelo Laboratório de Ornitologia e Animais Marinhos (LOAM) da Universidade Unisinos. As penas dorsais foram coletadas por meio de um estudo colaborativo entre LOAM (Unisinos) e o Laboratório de Marinha Química Orgânica (LabQOM) do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. Já do Albatroz de-sobrancelha-negra e da Pardela-preta foram utilizadas penas primárias que foram coletadas em parceria com o Projeto Albatroz, essas amostras foram obtidas de aves mortas acidentalmente pela pesca de espinhel pelágico no sul do Brasil, entre latitudes de 27°S e 34°S e longitudes de 47°W a 52°W entre julho de 2006 e junho de 2008.

As penas de Petrel-gigante-do-sul foram coletadas na Ilha Rei George (62°11' S, 58°27' W) e Ilha do Elefante (61°13'S, 55°21' W), essas ilhas pertencem ao Arquipélago das Shetland do Sul. As penas dorsais foram coletadas em novembro e dezembro de 2012 e as primárias e secundárias foram coletadas em novembro de 2011.

2.2. Preparo das amostras e dos padrões sintéticos dos elementos de interesse

Após chegarem ao laboratório as penas foram limpas com acetona P.A. para que fossem removidos os contaminantes que estivessem presos à superfície e foram moídas em moinho criogênico (6770 Freezer/Mill SPEX SamplePrep).

Para a quantificação de Hg e Se nas penas de Petrel-gigante-do-sul foram pesadas alíquotas entre 30 e 100 mg. E para a quantificação de Br, Cl, Cu, K, Mg, Mn, Na e V nas penas do Albatroz-de-sobrancelha-negra e na Pardela-preta foram pesadas alíquotas de 100 mg. Também, foram pesadas alíquotas de materiais de referência certificado (MRC) para o controle analítico dos dados.

Os padrões dos elementos de interesse foram preparados a partir de soluções com concentrações conhecidas (SPEX CertiPrep), essas soluções foram pipetadas em papel filtro e secas à temperatura ambiente. Para o padrão de Hg, antes de

pipetar a solução padrão de Hg foi pipetada uma solução de tiocetamida para evitar a perda do Hg por volatilização durante a irradiação.

2.3. Quantificação dos elementos de interesse por INAA

Para a quantificação de Br, Cl, Cu, K, Mg, Mn, Na e V por INAA as alíquotas das amostras foram irradiadas junto com os padrões dos elementos de interesse e o MRC na Estação Pneumática do Reator de Pesquisa IAEA-R1 por trinta segundos. E, para a quantificação de Hg e Se, o lote de irradiação também era composto pelas alíquotas das amostras, o MRC e os padrões de Hg e Se, porém, foram irradiados por uma hora no Núcleo do Reator de Pesquisas IAEA-R1.

Para ambas as irradiações as medições da radiação gama foram realizadas em um detector de germânio de alta pureza Canberra e os espectros foram coletados e processados pelo programa Canberra Genie 2000. A Tabela 1 apresenta os dados dos radionuclídeos quantificados neste estudo. As concentrações dos elementos foram calculadas usando uma planilha (Microsoft Excel).

Tabela 1 – Dados dos radionuclídeos usados para a quantificação dos elementos [11]

Elemento	Radionuclídeo	Meia-vida	Energia (keV)
Br	82Br	17,68 min	616,3
Cl	38Cl	37,24 min	1642,7
Cu	66Cu	5,10 min	1039,2
Hg	197Hg	2,67 dias	77,34
	203Hg	46,61 dias	279,20
K	42K	12,36 h	1524,4
Mg	27Mg	9,46 min	843,3
Mn	56Mn	2,58 h	846,8
Na	24Na	14,96 h	1368,6
Se	75Se	119,77dias	136,0
			264,66
			400,66
V	52V	3,75 min	1434,1

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Quantificação dos elementos nos materiais de referência certificados

Os elementos de interesse também foram quantificados em MRC para que houvesse o controle analítico dos dados obtidos. O material IAEA 085 produzido pela Agência Internacional de Energia Atômica foi analisado para a quantificação de Hg, o material de tecido de peixe para as quantificações de Hg e Se e o material de tecido de mexilhão para as quantificações de Br, Cl, Cu, K, Mg, Mn, Na e V. Os materiais de referência de tecido de peixe e tecido de mexilhão foram produzidos no Laboratório de Ativação com Nêutrons do Centro do Reator de Pesquisas do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. A Tabela 2 apresenta os dados obtidos para os MRC.

Tabela 2 – Resultados obtido, em mg kg⁻¹, nos materiais de referência certificados

MRC	Elemento	Valor Certificado	Valor Obtido ^b
IAEA 085	Hg	23,2 (22,4 – 24,0) ^a	22,4 ± 1,3
Tecido de peixe	Hg	0,88 ± 0,12 ^c	1,09 ± 0,03
	Se	2,95 ± 0,14 ^c	3,20 ± 0,67
Tecido de mexilhão	Br	250 ± 42 ^c	224 ± 73
	Cl%	3,62 ± 0,43 ^c	3,94 ± 0,64
	Cu	11,7 ± 1,5 ^c	13,4 ± 0,73
	K%	0,81 ± 0,11 ^c	0,740 ± 0,0066
	Mg%	0,360 ± 0,0043 ^c	0,34 ± 0,021
	Mn	23,4 ± 3,1 ^c	21,2 ± 0,73
	Na%	2,27 ± 0,36 ^c	2,19 ± 0,18
	V	2,89 ± 0,82 ^c	2,52 ± 0,10

a: valor certificado ± intervalo de confiança; b: média ± desvio padrão; c: valor certificado ± certeza expandida, k=2.

3.2. Quantificação dos elementos nas penas das aves

A Tabela 3 apresenta as concentrações de Hg e Se quantificadas nas penas primárias, secundárias e dorsais do Petrel-gigante-do-sul obtidas por meio da INAA Já a Tabela 4 apresenta as concentrações dos elementos de interesse nas penas do Albatroz-de- sobranceira-negra e da Pardela-preta.

Tabela 3 – Concentrações de Hg e Se em penas de Petrel-Gigante-do-Sul

Pena	Elemento					
	Hg			Se		
	$\bar{X} \pm DP$	Min – Max	n	$\bar{X} \pm DP$	Min – Max	N
Dorsal	4,0 ± 1,2	2,8 – 7,0	7	4,0 ± 1,2	2,4 – 6,1	7
Primária	7,1 ± 3,4	2,6 – 11,4	7	5,6 ± 2,8	2,9 – 10,4	7
Secundária	6,7 ± 4,4	2,6 – 14,4	7	3,3 ± 1,4	1,5 – 6,2	7

Tabela 4 – Concentrações dos elementos de interesse nas penas de Albatroz-de-sobrancelha-negra e da Pardela-preta

Pardela-preta				Albatroz-de-sobrancelha-negra		
Elemento	$\bar{X} \pm DP$	Min – Max	n	$\bar{X} \pm DP$	Min – Max	n
Br (mg kg ⁻¹)	0,34 ± 0,16	0,13 – 0,57	10	2,0 ± 1,3	0,12 – 3,6	10
Cl (g kg ⁻¹)	14,3 ± 5,2	4,3 – 21,3	10	14,4 ± 6,9	6,7 – 26,7	10
Cu (mg kg ⁻¹)	1,7 ± 1,2	0,76 – 4,6	9	1,4 ± 0,91	0,03 – 1,9	4
K (g kg ⁻¹)	1,0 ± 0,55	0,39 – 2,4	10	0,96 ± 0,35	0,50 – 1,4	10
Mg (g kg ⁻¹)	1,1 ± 0,17	0,81 – 1,4	10	1,2 ± 0,25	0,85 – 1,6	10
Mn (mg kg ⁻¹)	0,88 ± 0,79	0,17–3,0	10	0,66 ± 0,25	0,36 – 1,3	10
Na (g kg ⁻¹)	4,3 ± 1,5	2,4 – 6,7	10	5,8 ± 1,9	3,4 – 9,2	10
V (mg kg ⁻¹)	0,12 ± 0,09	0,01 – 0,28	8	0,19 ± 0,14	0,02 – 0,43	6

Dada sua toxicidade e a tendência a bioacumular, o Hg se tornou uma grande preocupação para instituições políticas e agências ambientais [12]. O Hg também é uma neurotoxina potente que pode causar deficiências reprodutivas, afetar o período de incubação e causar danos fisiológicos nas aves marinhas [13,14].

Entretanto, nas penas das aves, as concentrações de Hg não representam as concentrações dos órgãos internos no momento da amostragem, mas as concentrações que esses indivíduos possuíam antes da última muda [15]. Acredita-se que o Hg acumulado nos órgãos internos deixa esses tecidos antes do início da muda e se acumula no sangue, quando ocorre a muda, o Hg seria acumulado nas penas como uma forma de excreção [16].

Além da pena, a eliminação de elementos por meio do ovo também é considerada uma rota de desintoxicação de elementos. Ackerman e colegas [17] observaram uma relação entre o Hg e o Se encontrado em ovos de aves com tecidos internos da mãe, Se encontrado em ovos foi correlacionado com a concentração de Se no fígado das mães, e o Hg se correlaciona com sangue, rim, músculo e fígado.

O Se é necessário em quantidades muito pequenas, por exemplo, ele é usado no sistema imunológico, concentrações ligeiramente superiores às necessárias

para a homeostase tornam o Se tóxico [18,19]. A concentração necessária desse elemento varia de acordo com a espécie, concentrações entre 1 mg kg⁻¹ e 4 mg kg⁻¹ são considerados basais, o excesso pode causar comprometimento da condição corporal e pode afetar a reprodução em aves adultas [18,19].

Elementos como Cu, K, Na, Fe são essenciais e são encontrados no sistema biológico dos organismos para a manutenção das atividades metabólicas, mas mesmo tendo função metabólica, se estiverem em quantidades maiores que o necessário, podem se acumular e se tornar prejudiciais [20, 21]. Nas aves marinhas, existe uma glândula, chamada glândula de sal, que é responsável por eliminar o excesso de sal no organismo da ave, uma vez que elas ingerem água salgada [22], mas o Na é o principal eletrólito usado no controle osmótico do plasma [23] e concentrações adequadas de Na e K são necessárias para a operação da bomba de sódio-potássio, que está envolvida no processo natural de contração muscular, incluindo o músculo cardíaco [24]. No entanto, em altas concentrações, os íons Na⁺ se acumulam e podem causar uma maior retenção de água, levando a um aumento no líquido extracelular e no sangue, como resultado, há um aumento do trabalho cardíaco [23]. Altas concentrações de K em aves podem causar fraqueza muscular, paralisia e problemas cardíacos [23].

Não há leis sobre concentrações máximas de elementos em animais selvagens para evitar efeitos deletérios, mas as concentrações podem ser comparadas com outros estudos já realizados. Quando comparado com outros estudos as concentrações de Cu e Mn são inferiores às encontradas para o Albatroz-de-sobrancelha-negra e para a Pardela-preta [25-27]. No entanto, as concentrações de V encontradas para essas duas espécies são semelhantes entre este estudo e o estudo de Anderson e colegas [27].

Foi realizado um teste t para comparar as concentrações de Br, Cl, Cu, K, Mg, Mn, Na, V encontradas no Albatroz-de-sobrancelha-negra e na Pardela-preta, não foram encontradas diferenças significativas ($p < 0,05$) para a maioria dos elementos, com exceção do Br que foi encontrado em maior concentração no Albatroz-de-sobrancelha-negra. O Br é um elemento que ocorre naturalmente, pode ocorrer em diferentes formas nas águas do mar e na crosta terrestre, pode causar irritação na pele, membranas mucosas e tecidos [19]. Br está presente em alguns compostos utilizados em retardantes de chama utilizado em muitos produtos, como plásticos e espuma [28, 29]. O uso desses compostos é crescente e alguns estudos mostraram que são capazes de causar danos à vida selvagem, em aves eles podem causar, por exemplo, alterações reprodutivas e afetar a tireoide [28,29]. Já o Cl, Cu, K, Mg, Mn, Na, V são elementos essenciais para atividades

metabólicas, concentrações semelhantes para a maioria dos elementos podem ser devida a alimentação semelhante nessas duas aves marinhas, ambas se alimentam principalmente de peixes, crustáceos, cefalópodes, além das descartes de pescas [30,31].

As concentrações de Se encontradas no Petrel-gigante-do-sul são semelhantes às encontradas em outros estudos da literatura, mas se comparadas com a concentração de Se no sangue dessa espécie a da pena é cerca de vinte vezes menor [16]. Enquanto a concentração de Hg nessa espécie foi maior que do que as encontradas em outras aves marinhas, porém, González-Sólis e colegas [16] também encontraram concentrações semelhantes de Hg no sangue do Petrel-gigante-do-sul, segundo os autores as altas concentrações de Hg no sangue podem estar relacionadas ao período de pré-muda.

4. CONCLUSÕES

Os objetivos propostos por esse estudo foram cumpridos. O Hg e Se foram quantificados nos três tipos de pena de Petrel-gigante-do-sul e altas concentrações de Hg foram encontradas nas três penas, dessa forma esses resultados podem corroborar com a hipótese de que as penas são uma via de eliminação de Hg para as aves marinhas. As concentrações de Cl, Cu, K, Mg, Mn, Na e V foram quantificadas no Albatroz-de-sobrancelha-negra e na Pardela-preta e não apresenta concentrações mais altas que as encontradas na literatura, com exceção do Br, que ficou mais alto no Albatroz-de-sobrancelha-negra e pode causar efeitos deletérios nas aves. Os resultados obtidos podem colaborar para um banco de dados sobre a concentração de elementos nessas aves e dessa forma contribuir para a proteção dessas espécies, uma vez que grandes esforços são realizados para proteger os Procellariiformes.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Projeto Albatroz pela coleta das amostras de penas da Pardela-preta e do Albatroz-de-sobrancelha-negra e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela bolsa de doutorado cedida.

REFERÊNCIAS

- [1] FURNESS, R. W.; CAMPHUYSEN, C. J. Seabirds as monitors of the marine environment. *J Mar Sci*, v. 54, p. 726-737, 1997.
- [2] CALLE, P. *et al.* Mercury accumulation in sediments and seabird feathers from the Antarctic Peninsula. *Mar Pollut Bull*, v. 91, p. 410-417, 2015.
- [3] RAMOS, J. A. *As aves marinhas como indicadores ecológico*”. Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2010. 17 p. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10316/13282>.
- [4] MOVALLI, P. *et al.* Retrospective biomonitoring of mercury and other elements in museum feathers of common kestrel *Falco tinnunculus* using instrumental neutron activation analysis (INAA). *Environ. Sci. Pollut. Res.*, v. 24, p. 25986-26005, 2017.
- [5] BEARHOP, S.; RUXTON, G. D.; FURNESS, R. W. Dynamics of mercury in blood and feathers of great skuas. *Environ. Toxicol. Chem.*, v. 19, p. 1638-1643, 2000.
- [6] CARRAVIERI, A. *et al.* Moulting patterns drive within-individual variations of stable isotopes and mercury in seabird body feathers: Implications for monitoring of the marine environment. *Mar. Biol.*, v. 161, p. 963-968, 2014.
- [7] BURGER, J. Temporal trends (1989-2011) in levels of mercury and other heavy metals in feathers of fledgling great egrets nesting in Barnegat Bay, NJ. *Environ. Res.*, v. 122, p. 11-17, 2013.
- [8] FRANÇA, E. J. k0-INAA for determining chemical elements in bird feathers. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res A*, v. 622, p. 473-478, 2010.
- [9] HASKINS, S. D.; KELLY, D. G.; WEIR, R. D. Trace element analysis of turkey vulture (*Cathartes aura*) feathers. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 295, p. 1331-1339, 2012. DOI:10.1007/s10967-012-1910-z.
- [10] MOVALLI, P. *et al.* Retrospective biomonitoring of mercury and other elements in museum feathers of common kestrel *Falco tinnunculus* using instrumental neutron activation analysis (INAA). *Environ. Sci. Pollut. Res.*, v. 24, p. 25986-26005, 2017.
- [11] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Practical aspects of operating a Neutron Activation Analysis Laboratory*. Vienna: IAEA-Tecdoc-564, 1990.

- [12] TAVARES, S. *et al.* Influence of age, sex and breeding status on mercury accumulation patterns in the wandering albatross *Diomedea exulans*. *Environ. Pollut.*, v. 181, p. 315-320, 2013.
- [13] POLITO, M. J. *et al.* Differing foraging strategies influence mercury (Hg) exposure in an Antarctic penguin community. *Environ. Pollut.*, v. 218, p. 196-206, 2016.
- [14] FORT, J. *et al.* Does temporal variation of mercury levels in Arctic seabirds reflect changes in global environmental contamination, or a modification of Arctic marine food web functioning? *Environ. Pollut.*, v. 211, p. 382-388, 2016.
- [15] FROMANT, A. *et al.* Wide range of metallic and organic contaminants in various tissues of the Antarctic prion, a planktonophagous seabird from the Southern Ocean. *Sci. Total Environ.*, v. 544, p. 754-764, 2016.
- [16] GONZÁLEZ-SOLÍS, J.; SANPERA, C.; RUIZ, X. Metals and selenium as bioindicators of geographic and trophic segregation in giant petrels *Macronectes spp.* *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, v. 244, p. 257-264, 2002.
- [17] ACKERMAN, J. T. *et al.* Maternal transfer of contaminants in birds: mercury and selenium concentrations in parents and their eggs. *Environ. Pollut.*, v. 210, p. 145-154, 2016.
- [18] PHILPOT, S. M. *et al.* Trace element concentrations in feathers of seven petrels (*Pterodroma spp.*). *Environ. Sci. Pollut. Res.*, v. 16, p. 9640-9648, 2019.
- [19] PICONE, M. *et al.* Accumulation of trace elements in feathers of the Kentish plover (*Charadrius alexandrinus*). *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, v. 179, p. 62-70, 2019. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.04.051.
- [20] ABDALLAH, M. A. M. Trace elements levels in some commercially valuable fish species from coastal waters of Mediterranean Sea, Egypt. *Journal of Marine Systems*, v. 73, p. 114-122, 2000.
- [21] AGUIAR, M. R. M. P.; NOVAES, A. C.; GUARINO, A. W. S. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. *Química Nova*, v. 25, p. 1145-1154, 2002.
- [22] SCHREIBER, E. A.; BURGER, J. (eds.). *Biology of marine bird*. Boca Raton, Flórida: CRC Press, 2001.
- [23] THRALL, M. A. *et al.* *Veterinary Hematological and Clinical Chemistry*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2012.
- [24] VOET, D.; VOET, J. *Bioquímica*. Porto Alegre: Artmed, 2006.

- [25] 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, p. 763-771, 2014.
- [26] PON, J. P. S. *et al.* Trace metals (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb and Zn) in feathers of Black-browed Albatross (*Thalassarche melanophrys*) attending the Patagonian Shelf. *Mar. Environ. Res.*, v. 72, p. 40-45, 2011.
- [27] ANDERSON, O. R. J. *et al.* Element patterns in albatrosses and petrels: influence of trophic position, foraging range, and prey type. *Environ Pollut*, v. 158, p. 98-107, 2010.
- [28] MARTEINSON, S. C. *et al.* The Flame Retardant β -1,2-Dibromo-4-(1,2-dibromoethyl) cyclohexane: fate, fertility, and reproductive success in American Kestrels (*Falco sparverius*). *Environ. Sci. Technol.*, v. 46, p. 8440-8447, 2012.
- [29] GAUTHIER, L. T. *et al.* Temporal trends and spatial distribution of non-polybrominated diphenyl ether flame retardants in the eggs of colonial populations of Great Lakes Herring Gulls. *Environ. Sci. Technol.*, v. 43, p. 312-317, 2008.
- [30] ACAP. AGREEMENT ON THE CONSERVATION OF ALBATROSSES AND PETRELS. *Species assessment: Black-browed albatross Thalassarche melanophris*. 2009. Disponível em: <http://www.acap.aq/acap-species>.
- [31] ACAP. AGREEMENT ON THE CONSERVATION OF ALBATROSSES AND PETRELS. *Species assessment: White-chinned Petrel Procellaria aequinoctialis*. 2009. Disponível em: <http://www.acap.aq/acap-species>.