CAROLINA YUME SAWAMURA THEOPHILO

**Análise de elementos potencialmente tóxicos em
material biológico da Ilha da Trindade, Brasil.**

Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Química.

Orientador: Prof. Dr. Rubens Cesar
Lopes Figueira

São Paulo
2013

Universidade de São Paulo
Instituto Oceanográfico

**Análise de elementos potencialmente tóxicos em material biológico
da Ilha da Trindade, Brasil.
(versão corrigida)**

Carolina Yume Sawamura Theophilo

Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, área de Oceanografia Química.

Julgada e aprovada em 20/12/2013

Prof. Dr. Rubens Cesar Lopes Figueira

Conceito

Dra. Monica Angélica Varella Petti

Conceito

Profa. Dra. June Ferraz Dias

Conceito

*Aos meus queridos Pais, Gisela e Luiz Carlos,
pelo apoio, dedicação e amor!*

*Aprendi que vai demorar muito para me transformar
na pessoa que quero ser, e devo ter paciência.
Mas, aprendi também que posso ir além
dos limites que eu próprio coloquei”*

Charles Chaplin

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	vii
Resumo.....	ix
Abstract.....	x
Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabela.....	xiii
Lista de Abreviações.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1. Justificativa do estudo de elementos potencialmente tóxicos em organismos.....	17
1.2. Características dos Elementos Potencialmente Tóxicos.....	21
2. OBJETIVOS.....	31
2.1. Objetivos gerais.....	31
2.2. Objetivos específicos.....	31
3. ÁREA DE ESTUDO.....	33
3.1. Ilhas Oceânicas Brasileiras.....	33
3.2. Características Gerais da Ilha da Trindade.....	33
3.3. Fauna e Flora da Ilha da Trindade.....	38
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
4.1. Trabalho de campo: coleta das amostras.....	41
4.2. Preparação das amostras.....	45
4.3. Métodos e validação dos métodos.....	46
4.3.1. Método de digestão ácida para análise dos metais e semimetais.....	46
4.3.2. Método para a análise de Mercúrio.....	47
4.4. Espectrometria de Emissão Óptica com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES).....	48
4.5. Determinação de metais e semimetais em materiais de referência certificados.....	51

4.6. Limites de Detecção do Equipamento, Limites de Quantificação, considerando o fator de diluição, e Comprimentos de Onda.....	55
4.7. Tratamentos estatísticos.....	57
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
5.1. Determinação dos metais e semimetais em caranguejos, peixes e aves na Ilha da Trindade.....	60
5.2. Análise estatística dos dados.....	71
5.3. Comparação com concentrações de metais e semimetais em organismos de outras regiões do mundo.....	92
5.4. Mercúrio (Hg).....	99
6. CONCLUSÕES.....	100
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102

Apêndices

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Rubens Cesar Lopes Figueira pela orientação, paciência, conselhos, dedicação e confiança. Obrigada por me ajudar nessa etapa da minha vida e a superar todas as dificuldades que apareceram ao longo desse percurso!

À Dra. Andreza Portella Ribeiro, pela paciência infinita, pelos ensinamentos, conselhos, pela companhia até de noite durante os testes dos métodos e principalmente pela amizade, sem você tudo seria mais difícil.

À Dra. Alessandra Pereira Majer, pelo carinho, conselhos, ajuda com os tratamentos estatísticos, sem os quais esse trabalho não seria o mesmo.

Aos meus pais, Gisela e Luiz Carlos que sempre me apoiaram, acreditaram em mim até quando eu mesma não acreditava, que fizeram com que eu nunca desistisse, que me ensinaram os valores da vida. Muito obrigada pelo amor incondicional, vocês são os anjos da minha vida.

Ao meu irmão, Guilherme, que sempre fez com que a minha vida fosse mais alegre, que compartilhou comigo todos os momentos dela e os tornou mais especiais. E a Dani, pela amizade, carinho e por fazer parte da minha vida agora.

Ao meu maior bem: Ba, Di, Tia Ge, Tia Cláudia, Dinha, Tio Piquy, Tio Bira, Sa, Sa, Vi, Fi Ju, Tati, Talita, por sempre estarem ao meu lado e me darem a melhor família possível, cheia de amor e compreensão! A minha Vó (in memoriam) e ao meu Vô (in memoriam) que se foram durante esse período, mas que me ensinaram muito e de quem sinto enormes saudades!

Às minhas queridas amigas: Mary, Fe, Ju, Nathy e Jé. Impossível agradecer pela paciência de ouvirem horas sobre esse trabalho, aguentarem momentos de mau-humor e impaciência, por entenderem minhas ausências, por estarem sempre dispostas a me ouvir e a me aconselhar. A amizade e o amor de vocês são indispensáveis.

À Tatísi, pelas ajudas fundamentais nesse trabalho, pela companhia em congresso, workshop, dias de trabalho, almoços, por dividir o seu conhecimento e principalmente por se tornar uma grande amiga.

A todo o pessoal do Laboratório de Química Inorgânica Marinha (LAQIMAR), Juliê, Thatiane, Carol, Lourenço, Paulo, Marcela, pela companhia do dia a dia, pelas conversas e por toda a ajuda! Em especial a Keila, por tantos conselhos dados ao longo do caminho, e ao Alexandre, pelas leituras infinitas realizadas no ICP – OES.

À Profa. Dra. Rosalinda Montone Carmela, pela oportunidade de participar do projeto, ao Patrick, Renato, Gabriela, Josilene e Fernanda pela ajuda e coleta das amostras na Ilha da Trindade.

À Marinha do Brasil, ao Comando do 1º Distrito Naval, à Cirm, em especial ao Programa de Pesquisas Científicas na Ilha da Trindade (PROTRINDADE), ao coordenador do PROTRINDADE, CF Rodrigo Otochi Chaves, ao Posto Oceanográfico da Ilha da Trindade e a todos os militares que estiveram lá durante os períodos de coletas

Ao CNPq pelo financiamento do projeto, "Bioacumulação de poluentes orgânicos, inorgânicos e poluição por resíduos sólidos no ecossistema marinho da Ilha de Trindade" processo 557158/2009-5.

À CAPES, pela bolsa concedida.

À Deus, pela vida e por estar sempre iluminando o meu caminho!

RESUMO

A Ilha da Trindade está localizada a aproximadamente 1150 km da costa de Vitória-ES, é uma das ilhas oceânicas brasileiras e está sob o domínio da Marinha do Brasil. Desde o início de sua ocupação sofreu algumas influências antrópicas, como a derrubada de árvores e a introdução de animais (porcos e cabras). Os metais oriundos da costa ou de navios que passam pela região, estão em destaque entre os contaminantes ambientais que podem alterar o ecossistema da ilha. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi quantificar Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Zn e Hg em 300 amostras, compostas por músculo de duas espécies de caranguejo e de fígado e músculo de peixes (duas espécies) e aves (três espécies). Foram verificadas se existiam relações entre parâmetros biológicos (sexo, comprimento, biomassa), diferenças entre tecidos e entre os períodos as estações. Nos caranguejos a concentração de Fe em *Gercacinus lagostoma*, e Zn em *Grapsus grapsus*, foram maiores nos meses mais quentes, nos quais a atividade biológica é maior, sendo uma possível causa para maiores concentrações. Diferentemente dos caranguejos, a espécie *Melichthys niger* (peixe) apresentou maiores concentrações (Al no músculo e Fe e Zn no fígado) nos meses mais frios, as concentrações em peixes envolvem muitos fatores além da sazonalidade. Para ambas as espécies de peixes as concentrações de Fe e Zn foram maiores no fígado, assim como para *Pterodroma arminjoniana* (ave) as concentrações de Cu, Fe e Zn também foram maiores no fígado, como era esperado, pois, o fígado é um tecido com grande capacidade de acumular poluentes. Alguns elementos apresentaram correlações com a biomassa e/ou comprimento, porém todas muito baixas, com exceção do Zn em *Grapsus grapsus*. Todas as análises de Hg realizada ficaram abaixo do limite de quantificação do método ($17,7 \mu\text{g kg}^{-1}$). Os metais e semimetais apresentaram resultados semelhantes a estudos desenvolvidos em outras regiões.

Palavras chave: Ilha da Trindade, Metais, Semimetais, Poluentes inorgânicos, Material Biológico, Ilha Oceânica.

ABSTRACT

The Trindade Island is located approximately 1150 km from the coast of Vitória-ES, is one of Brazilian oceanic islands and is under the control of the Brazilian Navy. At the time the occupation began the island suffered some anthropogenic influences, such as the removal of trees and the animals introduction (pigs and goats). Metals originating from the shore or from ships passing through the region, are highlighting among the environmental contaminants that can change the ecosystem of the island. So the aim of this study was to quantify Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Zn and Hg in three hundred samples of muscle of two species of crab and liver and muscle of fish (two species) and seabirds (three species). The relationships between biological parameters (sex, length, weight), differences between tissues and between seasons were checked. The concentration of Fe, *Gercacinus lagostoma* (crab), and the Zn, in *Grapsus grapsus* (crab), showed higher concentrations in the warmer months, in which biological activity is greater, being a possible cause for higher concentrations. Different from crabs, the species *Melichthys niger* (fish) presented higher concentrations (Al in the muscle and Fe and Zn in the liver) in the colder months, concentrations in fish involve many factors besides the seasonality. For both species of fish concentrations of Fe and Zn were higher in the liver as well as for *Pterodroma arminjoniana* (seabird) concentrations of Cu, Fe and Zn were higher in the liver, like was expected, because the liver is a tissue with a great capacity to accumulate pollutants. Some elements showed correlations with the weight and/or length, but all very low, with the exception of Zn in *Grapsus grapsus*. All Hg analyzes performed were below the method quantification limit ($17.7 \mu\text{g kg}^{-1}$). The metals and semimetals showed similar results to studies conducted in other regions.

Keywords: Trindade Island, Metals, Semimetals, Inorganic Pollutants, Biological Material, Oceanic Island

Lista de Figuras

Figura 1: Ilha da Trindade e sua localização em relação ao continente.....	34
Figura 2: Mapa da Ilha da Trindade com os pontos de coleta.....	42
Figura 3: Caranguejo-amarelo (<i>Gecarcinus lagostoma</i>).....	43
Figura 4: Caranguejo Aratu (<i>Grapsus grapsus</i>).....	43
Figura 5: Peixe pufa (<i>Melichthys niger</i>).....	44
Figura 6: Ave viuvinha (<i>Anous stolidus</i>).....	45
Figura 7: Fluxograma da digestão dos metais e semimetais.....	47
Figura 8: Fluxograma da digestão do Hg.....	48
Figura 9: Equipamento ICP-OES com o sistema de VGA acoplado instalado no Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.....	51
Figura 10: Cartas controle dos metais e semimetais.....	54
Figura 11: <i>Box-plots</i> dos elementos quantificados em <i>G. grapsus</i> . Concentrações em mg kg^{-1}	62
Figura 12: <i>Box-plots</i> dos elementos quantificados em <i>G. lagostoma</i> . Concentrações em mg kg^{-1}	63
Figura 13: <i>Box-plots</i> dos elementos quantificados no músculo de <i>M. niger</i> . Concentrações em mg kg^{-1}	65
Figura 14: <i>Box-plots</i> dos elementos quantificados no músculo de <i>Harengula sp.</i> Concentrações em mg kg^{-1}	66
Figura 15: <i>Box-plots</i> dos elementos quantificados no fígado de <i>M. niger</i> . Concentrações em mg kg^{-1}	67
Figura 16: <i>Box-plots</i> dos elementos quantificados no fígado de <i>Harengula sp.</i> Concentrações em mg kg^{-1}	68
Figura 17: Gráfico da concentração, em mg kg^{-1} , dos metais e semimetais por sexo em <i>G. grapsus</i>	72
Figura 18: Gráfico da concentração, em mg kg^{-1} , dos metais e semimetais por sexo em <i>G. lagostoma</i>	73
Figura 19: Gráfico da concentração, em mg kg^{-1} , dos metais e semimetais estudados por estação em <i>G. grapsus</i>	75

Figura 20: Gráfico da concentração, em mg kg^{-1} , dos metais e semimetais por estação em <i>G. lagostoma</i>	75
Figura 21: Gráfico da concentração, em mg kg^{-1} , dos metais e semimetais por estação em músculo de <i>M. niger</i>	77
Figura 22: Gráfico da concentração, em mg kg^{-1} , dos metais e semimetais por estação em fígado de <i>M. niger</i>	78
Figura 23: Gráfico da concentração, em mg kg^{-1} , dos metais e semimetais por tecido em <i>M. niger</i>	80
Figura 24: Gráfico da concentração, mg kg^{-1} , dos metais e semimetais por tecido em <i>Harengula sp</i>	80
Figura 25: Concentrações, em mg kg^{-1} , quantificadas em músculo e fígado de <i>P. arminjoniana</i> . O número de amostras consideradas foi igual a 5 indivíduos.....	82
Figura 26: Correlação do peso com a concentração e correlação do comprimento da carapaça com a concentração de <i>G. grapsus</i> . Concentrações em mg kg^{-1}	84
Figura 27: Correlação da biomassa com a concentração e correlação do comprimento da carapaça com a concentração de <i>G. lagostoma</i> . Concentrações em mg kg^{-1}	85
Figura 28: Correlação da biomassa com a concentração e correlação do comprimento com a concentração em músculo de <i>M.niger</i> . Concentrações em mg kg^{-1}	87
Figura 29: Correlação da biomassa com a concentração e correlação do comprimento com a concentração em fígado de <i>M.niger</i> . Concentrações em mg kg^{-1}	89
Figura 30: Correlação da biomassa com a concentração e correlação do comprimento com a concentração em músculo de <i>Harengula sp</i> . Concentrações em mg kg^{-1}	90
Figura 31: Correlação da biomassa com a concentração e correlação do comprimento com a concentração em fígado de <i>Harengula sp</i> . Concentrações em mg kg^{-1}	91

Lista de Tabelas

Tabela 1: Resultados do SRM–2976, em mg kg^{-1}	52
Tabela 2: Resultado do DORM-2, em mg kg^{-1}	52
Tabela 3: Comprimentos de onda, limite de quantificação do método e limite de detecção do método dos elementos estudados.....	56
Tabela 4: Quantidade total das amostras analisadas nos organismos marinhos coletados na Ilha da Trindade.....	59
Tabela 5: Elementos retirados das análises estatísticas de cada espécie nos diferentes tecidos analisados.....	60
Tabela 6: Concentrações, em mg kg^{-1} , dos metais e semimetais em músculo de <i>G. grapsus</i> e <i>G. lagostoma</i> da Ilha da Trindade.....	64
Tabela 7: Concentrações, em mg kg^{-1} , dos metais e semimetais em músculo de <i>M. niger</i> e <i>Harengula SP</i>	69
Tabela 8: Concentrações, em mg kg^{-1} , dos metais e semimetais em fígado de <i>M. niger</i> e <i>Harengula SP</i>	69
Tabela 9: Mediana, desvio padrão, valores mínimo e máximo dos elementos quantificados em <i>P. arminjoniana</i> . Concentrações em mg kg^{-1}	70
Tabela 10: Concentrações dos elementos quantificados em <i>O. fuscatus</i> e <i>A. stolidus</i> . Concentrações em mg kg^{-1}	71
Tabela 11: Concentração, em mg kg^{-1} , de metais e semimetais em caranguejos e siris em diversas regiões do mundo.....	94
Tabela 12: Concentrações, em mg kg^{-1} , de metais e semimetais em fígado e músculo de peixes em diversas regiões do mundo.....	96
Tabela 13: Concentrações, em mg kg^{-1} , de metais e semimetais em diferentes tecidos de aves em diversas regiões do mundo.....	96
Tabela 14: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, de Hg em músculo de <i>Harengula sp.</i> , <i>M. niger</i> , <i>G. grapsus</i> e <i>G. lagostoma</i>	99

Lista de Abreviações

1° DN: Primeiro Distrito Naval

<LQM: Abaixo do limite de quantificação do método

$\bar{X}$: média

A

Al: Alumínio

ANOVA: Análise de Variância

As: Arsênio

C

CC: Carta Controle

Cd: Cádmio

CL: Valor da média dos dados

Co: Cobalto

Cr: Cromo

Cu: Cobre

D

DHN: Diretoria de Hidrografia e Navegação

DP: Desvio padrão

DPR(%): Desvio Padrão Relativo

F

Fe: Ferro

H

H₂O₂: Peróxido de Hidrogênio

HCl: Ácido Clorídrico

Hg: Mercúrio

HNO₃: Ácido Nítrico

I

ICP-OES: Espectrometria de Emissão Óptica com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado

L

LCL: Limite de Controle Inferior

LDE: Limite de detecção do equipamento

LDM: Limite de detecção do método

LQ: Limite de quantificação

LQM: Limite de quantificação do método

M

Máx: Valor máximo

MB: Marinha do Brasil

Min: Valor mínimo

Mn: Manganês

MRC: Material de Referência Certificado

N

n: Número de amostras consideradas para o tratamento estatístico

Ni: Níquel

P

Pb: Chumbo

POIT: Posto Oceanográfico da Ilha da Trindade

S

Se: Selênio

U

UCL: Limite de Controle Superior

V

VGA: Acessório de Geração de Vapor

Z

ZEE: Zona Econômica Exclusiva

Zn: Zinco

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui cinco ilhas oceânicas, são elas: Arquipélago de Fernando de Noronha, Arquipélago de São Pedro e São Paulo, Atol das Rocas, Ilha da Trindade e Arquipélago de Martim Vaz. Todas estão isoladas do continente e a distância de cada uma em relação à costa é variada. As ilhas oceânicas têm tamanhos diferentes e uma área emersa pequena se comparada com a parte imersa. (SERAFINI *et al*, 2010).

As ilhas oceânicas podem ser consideradas como áreas remotas e preservadas devido à grande distância do continente, porém, não estão livres dos poluentes orgânicos e inorgânicos oriundos da região costeira produzidos por atividades antrópicas ou até mesmo de poluentes vindos de navios que passam pela região, nesse sentido é de grande importância a realização de estudos sobre os poluentes presentes nesses locais.

Os metais estão em posição de destaque entre os diversos contaminantes existentes, podendo poluir a água, o solo, as plantas, os animais ou o meio ambiente como um todo. Os metais podem ser encontrados na natureza por meio de ocorrência natural ou por atividades antrópicas. Nesse trabalho o grupo chamado comumente como metais pesados e ou metais-traço, será denominado, junto com o arsênio (As) e o selênio (Se), de elementos potencialmente tóxicos. Alguns exemplos são: Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Chumbo (Pb), Ferro, (Fe) Mercúrio (Hg), Níquel (Ni).

1.1. Justificativa do estudo de elementos potencialmente tóxicos em organismos

O estudo de elementos potencialmente tóxicos presentes em ambientes aquáticos vem ganhando bastante atenção, devido aos efeitos nocivos que podem causar no ser humano e em outros organismos. Uma das propriedades mais importantes que um poluente possui é a capacidade de se acumular nos tecidos de organismos (PALANIAPPAN & KARTHIKEYAN, 2009). Mesmo que estejam presentes em pequenas quantidades no ambiente, ao longo do tempo podem se acumular e exercer efeitos tóxicos, assim como possibilitar sua bioacumulação e biomagnificação. (PALANIAPPAN & KARTHIKEYAN, 2009).

Segundo Clark, 1992, a definição de poluição marinha é a introdução pelo homem de substâncias ou energia, de uma forma direta ou indireta, que cause efeitos deletérios. Enquanto, contaminação é quando as atividades antrópicas aumentam a concentração de substâncias na água do mar, sedimentos ou organismos, essas concentrações podem ser menores que de outras regiões nas quais as concentrações são maiores devidas a fontes naturais.

Os peixes podem assimilar os metais e semimetais presentes na água, por meio das brânquias, porém a forma mais importante de assimilação é por meio da alimentação (KOJADINOVIC *et al.*, 2007). Um estudo realizado por Copat *et al.* (2012) na Ilha de Sicília, localizada no Mar Mediterrâneo e que possui uma rica biodiversidade marinha, utilizou três espécies de peixes e analisou as concentrações de Cd, Pb e Hg em diferentes regiões da ilha. A principal fonte de contaminantes na Sicília é a grande área industrial, que libera

para o meio poluentes do refino de petróleo, além de águas residuais e poeiras contaminadas com metais.

Nas amostras analisadas por Copat *et al.* (2012), algumas delas excederam o limite máximo estabelecido pela EC (European Community) para peixes frescos, acima desse limite o peixe é considerado impróprio para consumo humano. A maior concentração de Hg ($0,31 \text{ mg kg}^{-1}$) foi encontrada na região de Pantelleria, uma pequena ilha localizada no meio do Canal da Sicília, que foi considerada pelo estudo como área controle por não estar sujeita diretamente à fontes antrópicas. Entretanto a presença desse metal nessa região pode ser devido aos vulcões, às fumarolas e à atividade tectônica submarina na bacia do Mediterrâneo, principalmente no canal da Sicília (Copat *et al.*, 2012).

Barbieri *et al.* (2010), quantificou a concentração de Cd, Cu, Manganês (Mn), Ni, Zinco (Zn) e Pb em penas de aves marinhas (*Larus dominicanus*). A quantificação da concentração desses elementos foi realizada em amostras de indivíduos juvenis, sub adultos e adultos coletadas em Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. A principal fonte de entrada de metais em *L. dominicanus*, assim como para a maioria dos organismos, é por meio da alimentação. Para o Cu não houve diferença significativa na concentração nos diferentes estágios de maturidade, em relação aos demais elementos (Cd, Mn, Ni, Zn e Pb), houve um aumento da concentração em relação ao aumento da idade dos indivíduos.

Na Ilha de Qeshm, localizada a poucos quilômetros da costa sul do Irã, localizada do lado oposto de algumas cidades portuárias, foi realizado um estudo de quantificação de Cd, Pb e Ni por Norouzi *et al.* (2012) em diferentes tecidos (brânquia, músculo e fígado) de duas espécies de peixes. Segundo

Mansouri *et al.* (2011) os peixes podem ser utilizados como indicadores da contaminação de sistemas aquáticos por metais, uma vez que são sensíveis as mudanças no ambiente aquático. No estudo de Norouzi *et al.* (2012) as maiores concentrações encontradas foram em fígado de *Liza vaigiensis* ($\text{Cd}=0,68\text{mg kg}^{-1}$, $\text{Pb}= 0,37\text{mg kg}^{-1}$, $\text{Ni}= 1,42\text{mg kg}^{-1}$) e as menores em músculo de *Johnius carutta* ($\text{Cd}= 0,16\text{mg kg}^{-1}$, $\text{Pb}= 0,03\text{mg kg}^{-1}$ e $\text{Ni}= 0,29\text{mg kg}^{-1}$). Ambas as espécies são utilizadas para consumo humano e as concentrações encontradas de Cd e Pb no tecido muscular de ambas as espécies não representam risco ao consumo, nem risco aos seus predadores.

Um estudo realizado com o caranguejo *Portunus pelagicus* por Viswanathan *et al.* (2013) quantificou a concentração de Cd, Cu, Pb e Zn nas brânquias, músculo e hepatopâncreas. O estudo foi realizado no estuário de Ennore, na Índia. As maiores concentrações encontradas para Cd foi de $0,08\text{ mg kg}^{-1}$, para o Cu foi de $4,26\text{ mg kg}^{-1}$, para Pb foi de $0,04\text{ mg kg}^{-1}$ e para Zn foi de $3,34\text{ mg kg}^{-1}$, todas as maiores concentrações foram determinadas nas brânquias dos caranguejos. Para os elementos de Zn e Cd as maiores concentrações foram quantificadas em brânquias e as menores nas amostras de músculo, já para os elementos Pb e Cu as maiores concentrações também foram encontradas nas brânquias, porém, as menores foram encontradas nas amostras de hepatopâncreas.

Em Bjornoya e Jan Mayen, duas ilhas na região Ártica, foi realizado um estudo com amostras da gaivota hiperbórea (*Larus hyperboreus*). Malinga *et al.* (2010), coletou amostras de sedimento, água e gaivotas. Nas gaivotas, foram realizadas análises da concentração de Cd, Cu, Fe, Mn e Zn em diversos tecidos como: músculo, rim, fígado, cérebro, gônadas, coração e penas. Em

Bjornoya foi realizada a análise em aves fêmeas e machos e os resultados mostraram que não houve diferença significativa nas concentrações encontradas. Em músculos e fígados das gaivotas coletadas em Jan Mayen foram encontrados níveis de Cd entre 0,26 e 6,40 mg kg⁻¹, Cu entre 16,0 e 16,3 mg kg⁻¹, Fe entre 168 e 1120 mg kg⁻¹, Mn entre 2,07 e 20,3 mg kg⁻¹ e Zn entre 68,2 e 79,7 mg kg⁻¹, respectivamente. A concentração encontrada em Bjornoya foi maior do que a encontrada em Jan Mayen, os autores propuseram duas explicações, a primeira que talvez a alimentação das gaivotas nas duas ilhas fossem diferentes e a segunda e mais provável é que essa acumulação é devida ao local para onde as aves migram no inverno. As aves de Bjornoya provavelmente migram para o norte da Europa, enquanto as de Jan Mayen migram para o sul da Groenlândia, uma região menos poluída do que a Europa.

A concentração de Cd e Cu foi analisada em tecidos do caranguejo da espécie *Neohelice granulata* por Simonetti *et al.* (2012) no estuário Bahía Blanca, Argentina. As amostras foram coletadas em dois diferentes locais, em Porto Cuatrerros que recebe influência da cidade General Cerri, além do Rio Sauce Chico e do córrego Saladillo Garcia que drenam extensas áreas agrícolas e, em Villa del Mar, uma pequena vila, próxima a cidade de Punta Alta e longe de áreas industriais. Os caranguejos foram coletados nas quatro estações do ano e separados por sexo, porém os resultados obtidos não mostraram diferença significativa entre as concentrações de Cu e Cd em machos e fêmeas. Também não houve uma diferença significativa entre os dois pontos de coleta, apesar de Porto Cuatrero ser mais afetado por atividades

antrópicas. A única diferença significativa foi em relação às estações do ano, no inverno as concentrações foram menores.

1.2. Características dos Elementos Potencialmente Tóxicos

Os elementos potencialmente tóxicos são encontrados em pequenas quantidades no sistema biológico, eles são capazes de gerar danos à fauna e flora de um local devido à sua disposição na água e nos sedimentos. Muitos metais, como por exemplo, o Fe e Cu são essenciais à vida na Terra, porém, a própria natureza se encarrega dessa missão e oferece as quantidades necessárias para a manutenção de um ciclo de vida saudável, outros metais, no entanto não possuem função alguma conhecida no ciclo biológico como é o caso do Pb e Cd (TAVARES & CARVALHO, 1992; AL-YOUSUF *et al.*, 2000; NOROUZI *et al.*, 2012).

Embora alguns deles sejam necessários em pequenas quantidades para a manutenção das vias metabólicas, a maioria acaba se acumulando no organismo (ABDALLAH, 2008; AGUIAR *et al.*, 2002). Segundo Moreira & Moreira (2004), os elementos potencialmente tóxicos podem danificar toda e qualquer atividade biológica, sendo que todos os sistemas enzimáticos são susceptíveis a eles, porém, os organismos têm acesso limitado a esses metais, devido sua estrutura anatômica e porque seus sítios ativos inertes podem competir com os íons metálicos.

A atividade dos elementos potencialmente tóxicos depende da sua concentração no organismo e podem causar efeitos tanto benéficos quanto prejudiciais. Em grande quantidade eles podem ser altamente tóxicos, como,

por exemplo, o Fe, ele é utilizado em diversas vias metabólicas em humanos, porém, quando há ingestão acima da quantidade necessária ele se torna tóxico, causando vômitos sanguinolentos e ulceração do trato intestinal que chega a durar de algumas horas a alguns dias. Nos dias subsequentes a ingestão os pacientes podem ter dano hepático e problemas de coagulação, que pode levar a falência renal (AL-YOUSUF *et al.*, 2000; LIMA, 2003).

O Zn é outro elemento essencial também utilizado em diversas vias metabólicas, porém, segundo a World Health Organization (WHO, 2001) as ingestões diárias de Zn para crianças de 2 meses até os 19 anos deve ser de 5,6 a 13 mg/dia, enquanto um adulto deve ingerir entre 8,8 a 14,4 mg/dia para que não haja problemas de intoxicação.

Ao longo do percurso até os oceanos, os elementos potencialmente tóxicos assumem diferentes formas químicas, eles podem estar em solução (tanto de íons inorgânicos ou complexos orgânicos ou inorgânicos), adsorvidos em superfícies, sob a forma de partículas orgânicas sólidas, incrustado no material cristalino detrítico, entre outras. As concentrações na forma dissolvida são as menores dentre as diferentes formas existentes no ambiente marinho (KUNIYOSHI, 2011a).

Os metais são constituintes naturais da água do mar e podem ser liberados para o meio por diversas fontes naturais como por meio da erosão de rochas, da vegetação, de atividades vulcânicas, das queimadas de florestas, entre outras. Duas importantes fontes de entrada de metais no oceano são os rios, principalmente se passam por áreas agrícolas e indústrias, e a atmosfera, principalmente na costa de países industrializados (CLARK, 1992). Em seguida é realizada uma breve apresentação do potencial tóxico dos diferentes

elementos químicos estudados nesse trabalho.

Alumínio (Al)

Na crosta terrestre o alumínio é o metal mais abundante, além disso, ele está amplamente distribuído. Segundo a Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2008), é um elemento muito reativo e nunca está como um metal livre na natureza, o Al é encontrado combinado com outros elementos, normalmente com o oxigênio, silício e flúor. Esses compostos químicos normalmente são encontrados em rochas, argilas, solos e minerais.

Estudos realizados com animais em laboratório mostram que altas doses de Al por via oral afetam o sistema nervoso do animal. Em aves, somente o tecido ósseo aumenta a sua concentração em resposta a uma dieta rica em Al, outros tecidos como, por exemplo, rim e fígado, não verificaram o aumento da concentração de Al em reflexo a uma dieta com alta concentração desse metal (CARRIERE *et al.*, 1986 *apud* SCHEUHAMMER, 1987; ATSDR, 2008).

Arsênio (As)

O Arsênio é um semimetal encontrado naturalmente no ambiente e está amplamente distribuído. Pode ser encontrado na forma de compostos de arsênio inorgânico, quando está combinado com elementos como oxigênio, enxofre e silício, ou como compostos orgânicos quando combinado com carbono e hidrogênio, porém os compostos inorgânicos são mais tóxicos para os humanos (ATSDR, 2007a)

Os compostos de As possuem uma grande importância. Tal importância pode ser devido a sua ocorrência em altas concentrações, por possuírem

propriedades tóxicas ou por serem importantes metabólitos. Como seus compostos são facilmente absorvidos, seja por via oral ou por via inalatória, os altos níveis de toxicidade do As são bem conhecidos. A toxicidade de seus compostos varia conforme a seguinte ordem crescente: As elementar < compostos de arsênio < ácidos aquil-arsênicos < arseniato < arsenito, sendo que o arsenito é 60 vezes mais tóxico que o arseniato (BARRA *et al.*, 2000; FRANCESCONI, 2010).

Em amostras marinhas a presença do As já é reportada há mais de 100 anos, as formas de As inorgânico encontradas no ambiente marinho são os arsenitos e arsenatos, o As inorgânico é muito mais tóxico para o humano do que o orgânico. Peixes, moluscos, crustáceos e outros frutos-do-mar, utilizados na dieta alimentar dos humanos, possuem alta concentração de As, porém grande parte do As encontrado está na forma orgânica. (FRANCESCONI, 2010; KUNIYOSHI *et al.*, 2011b).

Cádmio (Cd)

O Cádmio é um metal encontrado naturalmente na crosta terrestre de forma ampla. Como um poluente, o Cd entra no ambiente por meio de fontes agrícolas e industriais. Normalmente esse metal está combinado com minérios de Zn, Pb e Cu, e 80% da sua produção está associada com a produção do Zn e os outros 20% são de subprodutos da produção de Pb e Cu (ATSDR, 2012a; JÄRUP & AKESSON, 2009).

O Cd pode bioacumular, de acordo com Chasin & Cardoso (2003) em plantas aquáticas, invertebrados, peixes e mamíferos. Em altas concentrações

pode causar em microrganismos a inibição da mineralização do nitrogênio e fósforo, e diminuir a diversidade dos fungos.

Nos peixes, em concentrações normais o Cd se acumula nas bânquias, fígado e rins, porém ele é inativado pela proteína metalotioneína, mas em concentrações elevadas, o Cd passa a se acumular nos músculos e a metalotioneína não é capaz de inativá-lo, causando anemia, anorexia e distúrbios respiratórios (CHASIN & CARDOSO, 2003). No entanto, um estudo realizado por Kalman *et al.* (2010) sugere que a proteína metalotioneína pode não representar o papel principal na desintoxicação por sequestro desse metal. Kalman *et al.*, (2010) realizou um estudo no qual foi injetado Cd em duas espécies comerciais de peixes (*Sparus aurata* e *Solea senegalensis*). Entre 0,3 e 6 dias após a administração, tecidos como intestino, brânquias e fígado foram analisados. Observou-se, então, um aumento na concentração de Cd em todos os tecidos, em *S. aurata* houve indução da síntese da metalotioneína, na outra espécie (*S. senegalensis*) não houve nenhum indício de relação entre o aumento da concentração de Cd e a síntese da proteína.

Cobre (Cu)

O Cu é um metal avermelhado presente em rochas, solos, sedimentos, água e em menores níveis no ar. Ele é essencial para toda a biota e é um catalisador biológico. Apesar de ser tóxico em elevadas concentrações, em baixas concentrações ele pode ser um fator limitante para o desenvolvimento de animais e plantas. O Cu está presente na hemocianina dos invertebrados, participa das atividades enzimáticas de oxirredução e, assim como outros metais, participa da regulação gênica e é essencial para a utilização de ferro na formação de hemoglobina e na maturação de neutrófilos (PEDROZO, 2003).

Siddiqui & Dikki (2011) realizaram um estudo para avaliar a concentração de Cu em diferentes tecidos (brânquias, músculos, hepatopâncreas e intestinos) do caranguejo de água doce *Barytelphusa gureini*. Eles administraram doses de Cu de $4,5 \text{ mg kg}^{-1}$ por 2, 4, 6, 8 e 10 dias, os resultados mostraram que há uma diferença marcante entre a concentração encontrada em cada órgão. As maiores concentrações foram em brânquias, seguidas por músculo e por último intestino, e as menores em hepatopâncreas. As brânquias acumularam o Cu proveniente de outros órgãos devido à circulação. No caso do músculo, altas concentrações de Cu podem interferir e prejudicar a atividade das enzimas que causam contração muscular, na glicogenólise e na produção de ATP, responsável por gerar energia para a concentração do músculo. Os animais com altas concentrações de Cu no músculo podem ter letargia e perda de equilíbrio.

Ferro (Fe)

Na crosta terrestre o Fe é um dos elementos mais abundantes. Ele é bem distribuído por ser encontrado em todas as épocas geológicas. No Brasil todas as minas de exploração do Fe são a céu aberto. Ele é um metal fundamental no desenvolvimento industrial de qualquer país, pois é matéria-prima na composição do aço (LAMOSO, 2001).

Segundo Canli & Atli (2003), assim como o Cu e o Zn, o Fe é um metal essencial para os seres vivos. Em um estudo realizado por eles, foi mensurada a concentração de Fe nos diferentes tecidos (músculos, brânquias e fígados). De seis espécies de peixes analisadas, os resultados mostraram que há uma enorme variação na concentração de Fe, tanto entre as diferentes espécies,

como entre os diferentes tecidos. A concentração de Fe entre as espécies nos músculos variou entre $19,6 \text{ mg kg}^{-1}$ e $78,4 \text{ mg kg}^{-1}$, enquanto no fígado variou entre $225,4 \text{ mg kg}^{-1}$ e $582,3 \text{ mg kg}^{-1}$.

Manganês (Mn)

O Mn é um elemento que está amplamente distribuído na crosta terrestre, na água e na atmosfera. Normalmente é encontrado em diversos tipos de rochas e solos. Ele não é encontrado na natureza como um metal puro, estando sempre combinado com outros elementos como oxigênio, enxofre e cloro. Compõe aproximadamente 0,1% da Terra e grande parte do Mn extraído é utilizado na produção do aço (ATSDR, 2012b; MARTINS, 2003).

Níquel (Ni)

O Ni foi isolado pela primeira vez em 1751. Na natureza é principalmente encontrado como minério de sulfeto e óxidos. Ele é capaz de entrar em águas superficiais a partir de três diferentes fontes, a primeira por meio de partículas presentes na água da chuva, a segunda pela dissolução de rochas e a última pelos solos. Nos sistemas aquáticos, o Ni ocorre na forma de sais solúveis, que podem estar adsorvidos ou associados a partículas de argila, matéria orgânica ou outras substâncias (EISLER, 1998).

O Ni está na Lista II de metais regulados pelo Conselho das Comunidades Europeias, por ser uma substância perigosa devido a sua toxicidade, persistência e afinidade para bioacumulação (BUBB & LASTER, 1996). Em diferentes órgãos de aves presentes em ecossistemas não poluídos

a concentração de Ni varia entre $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ a $2,0 \text{ mg kg}^{-1}$, no entanto, essa concentração pode alcançar $5,0 \text{ mg kg}^{-1}$ (EISLER, 1998).

Chumbo (Pb)

O Pb ocorre naturalmente em pequenas quantidades na crosta terrestre. Raramente é encontrado como metal puro, estando normalmente combinado com dois ou mais elementos. Os níveis mais altos de Pb encontrado no ambiente são provenientes da atividade antrópica. O maior aumento na concentração de Pb ocorreu entre 1950 e 2000, reflexo do aumento mundial do uso de gasolina contendo esse metal (ATSDR, 2007b).

Em algas e organismos bentônicos normalmente a concentração de Pb é maior do que nos organismos do topo da cadeia trófica. Maiores concentrações de Pb são encontradas em peixes cartilaginosos ou ósseos, aves e mamíferos que estão em locais onde a densidade veicular e humana é alta. Nos vertebrados, tanto aquáticos como terrestres, o Pb tende se acumular de acordo com o aumento da idade, e normalmente é encontrado em tecidos duros, como por exemplo, osso e dente (EISLER, 1988).

Selênio (Se)

O Se é encontrado em rochas e solos, sendo abundante na crosta terrestre, porém, com distribuição desigual. Normalmente é encontrado combinado com outras substâncias, como minerais de prata (Ag), Cu, Pb e Ni. O Se elementar é produzido comercialmente como um subproduto da refinação do Cu (ATSDR, 2003).

O Se é essencial para a função biológica, porém pode se tornar tóxico em concentrações ligeiramente maiores do que as necessárias. Para vertebrados ovíparos o excesso de Se pode causar deformidades ou até a morte do embrião (Miller *et al.*, 2013).

Zinco (Zn)

O Zn é um dos elementos mais comuns na crosta terrestre. É encontrado no ar, no solo, na água e também presente em todos os alimentos. O Zn, assim como outros nutrientes, é essencial. Como está presente em todos os alimentos, é possível ser exposto ao Zn, por meio da alimentação, ou pela ingestão de água, ou por meio das vias aéreas (ATSDR, 2005).

Em organismos aquáticos, as concentrações de Zn geralmente são superiores ao que o metabolismo necessita, e a dieta alimentar é a principal fonte para a ingestão do Zn e não a absorção da água do mar. Nas aves marinhas as concentrações de Zn ficam normalmente entre 12 mg kg⁻¹ em ovos e 88 mg kg⁻¹ no fígado (EISLER, 1993).

Mercúrio (Hg)

O Hg ocorre naturalmente e é encontrado na água, no solo e no ar. Ele existe em diferentes formas, como Hg elementar ou metálico, como compostos de Hg inorgânico ou compostos de Hg orgânicos. A temperatura ambiente o Hg metálico é líquido, normalmente usado em termômetros, porém, parte desse metal líquido a essa temperatura se evapora e forma vapores de Hg, que são incolores e inodoros (ATSDR, 1999; USEPA, 2013).

Como os organismos marinhos possuem capacidade de bioacumulação e biomagnificação, diversos estudos para a concentração de Hg são realizados em peixes e frutos do mar. Ferreira *et al.* (2012) realizou um estudo para quantificar a concentração de Hg em diversas espécies de peixes e camarão com importância comercial, os peixes foram amostrados durante três anos em diversos locais, como a Baía do Guanabara, Baía de Sepetiba, pesca oceânica e da enseada de Itaipu. Os resultados encontrados mostraram que os maiores valores médios encontrados foram de $0,393 \text{ mg kg}^{-1}$ para o peixe Meca (*Xiphias geadius*) e os menores foi de $0,058 \text{ mg kg}^{-1}$ para o camarão (*Litopenaeus vannamei*). A Meca é um peixe predador, ou seja, ocupa o topo da cadeia trófica, dessa forma acumula mais Hg que os níveis tróficos inferiores. No estudo realizado 2,4% do total de Meca amostrado ultrapassou o limite estabelecido pela legislação brasileira e internacional que é de $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$. Dessa forma, é possível perceber que o consumo de peixes predadores podem oferecer um risco maior de contaminação ao ser humano.

Na Ilha de Trindade ainda não foram realizados estudos quantificando os metais e semimetais em organismos, portanto, apesar de ser uma área pristina, não há dados sobre a região, dessa forma, esse estudo é de fundamental importância para a Ilha, podendo colaborar na formação de um importante banco de dados para a região para futuras comparações.

É importante lembrar que esse projeto faz parte de um projeto maior financiado pelo CNPq intitulado como: “Bioacumulação de poluentes orgânicos, inorgânicos e poluição por resíduos sólidos no ecossistema marinho da Ilha de Trindade”, processo 557158/2009-5.

2. OBJETIVOS

2.1. *Objetivos gerais*

Com base na importância dos organismos para estudos ambientais e aos estudos ainda não realizados sobre metais e semimetais em organismos da Ilha da Trindade, o objetivo geral foi avaliar as concentrações de metais e semimetais em espécies abundantes de aves, peixes e caranguejos coletados em Trindade, por meio de métodos de digestão ácida e dessa forma colaborar para a formação de um banco de dados.

2.2. *Objetivos específicos*

- Estabelecer e validar uma metodologia analítica para a quantificação dos elementos: Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se e Zn em material biológico por meio de digestão ácida e quantificação por espectrometria de emissão óptica com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-OES);
- Quantificar esses elementos em músculo de duas espécies de caranguejo (*Grapsus grapsus* e *Gecarcinus lagostoma*), em fígado e músculo de duas espécies de peixe (*Melichthys niger* e *Harengula sp.*) e em fígado e músculo de três espécies de aves (*Pterodroma arminjoniana*, *Onychoprion fuscatus* e *Anous stolidus*);
- Estabelecer e validar uma metodologia analítica para a quantificação de Hg em material biológico por meio da técnica de VGA acoplado a ICP-OES;
- Quantificar o Hg em músculo de caranguejo (*G. grapsus* e *G. lagostoma*) e peixes (*M. niger* e *Harengula sp.*);

- Verificar se existem relações entre as concentrações encontradas com algumas variáveis biológicas (sexo, biomassa, comprimento), e, se, existem relações entre as concentrações encontradas nos diferentes tecidos coletados;
- Comparar e avaliar as concentrações dos elementos potencialmente tóxicos encontradas nos materiais biológicos da Ilha da Trindade com outras regiões do mundo.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. *Ilhas Oceânicas Brasileiras*

A ocupação das ilhas oceânicas brasileiras teve início logo após os seus descobrimentos, porém, somente Fernando de Noronha e Trindade possuem condições para que essa ocupação seja permanente (SOTO, 2009). O processo de ocupação humana pelo qual essas ilhas passaram ocasionou modificações tanto em sua paisagem como na biota desses locais.

Elas podem ser consideradas como áreas especiais e estratégicas para o Brasil, devido a sua grande importância política, pois aumenta a Zona Econômica Exclusiva (ZEE), área que se inicia a partir da linha base de costa e se estende por 200 milhas marítimas. Dentro da ZEE um país tem direito a explorar, conservar e gerir todos os recursos vivos e não vivos, além de estudar (LEITÃO & CARVALHO, 2005; MARLIERE, 2006).

Outra importância está em sua biodiversidade única, todas as ilhas possuem alguma forma de proteção, seja como áreas de proteção ou áreas 'sob o domínio da Marinha do Brasil (MARLIERE, 2006). A Ilha da Trindade e o Arquipélago de Martim Vaz, assim como o Arquipélago de São Pedro e São Paulo, são áreas sob o domínio da Marinha e também possuem o desembarque restrito.

3.2. *Características Gerais da Ilha da Trindade*

A Ilha da Trindade (Figura 1) desde 1986 é administrada pelo Comando do 1º Distrito Naval (1ºDN) localizado no Rio de Janeiro e pertence à Marinha do Brasil (MB). De acordo com o Comando do 1º DN a Ilha foi descoberta em

1501 pelo português João Nova e desde então aparece nos mapas mais antigos para o hemisfério ocidental (MURPHY, 1915). Ela está localizada a 620 milhas marítimas da costa de Vitória–ES (aproximadamente 1150 km) e é determinada pelas coordenadas: 20°30'S e 29°18'W. Possui uma área total de 8,2 km². A 50 km de distância da Ilha da Trindade fica o Arquipélago de Martim Vaz que é composto por duas pequenas Ilhas, Ilha Norte e Ilha Sul, que juntas possuem uma área total de 2,5 km² (PROTRINDADE, 2011; CLEMENTE et al, 2009).

Figura 1: Ilha da Trindade e sua localização em relação ao continente.

A Ilha passou a ser território brasileiro em 1882, foi ocupada durante o período da Primeira Guerra Mundial (1914 a 1918), durante os anos de 1924 e 1928, como presídio político, e durante a Segunda Guerra Mundial (1939 a 1945) (COMANDO DO 1º DISTRITO NAVAL, 2006). Com a criação do Posto Oceanográfico da Ilha da Trindade (POIT), em 1957, na época subordinado a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da MB, a Ilha passou a ser permanentemente ocupada por militares da Marinha. Porém, em 1986, o POIT deixou de ser subordinado ao DHN e passou a ser subordinado ao 1º DN, o qual administra a Ilha até os dias de hoje.

O POIT é um destacamento isolado do 1º DN e tem como responsabilidade manter a Ilha ocupada para garantir posse do território para o Brasil, realizar observações meteorológicas e maregráficas segundo orientações da DHN. Além de cooperar no acompanhamento do tráfego marinho e preservar as características ecológicas da ilha e do ambiente marinho circulante, o POIT serve como base de apoio a grupos que realizam atividades autorizadas, como grupos de pesquisas, ou determinadas pelo 1º DN. Um navio da MB a cada dois meses é enviado ao POIT para o abastecimento da Ilha e troca dos militares, nos dias de hoje ficam na Ilha cerca de 40 militares mais os pesquisadores. (COMANDO DO 1º DISTRITO NAVAL, 2006).

O Decreto Municipal nº 8054 de 22 de Maio de 1989 de Vitória (ES) diz que segundo o Artigo 1º da Lei Estadual nº 732, de 15 de Setembro de 1953, a Ilha da Trindade e o Arquipélago de Martim Vaz foram incorporados ao Município de Vitória e que juntos, segundo esse Decreto Municipal, formam a unidade de conservação denominada de Reserva Ecológica Municipal das

Ilhas Oceânicas de Trindade e Arquipélago Martim Vaz. Entretanto, de acordo com a Constituição da República Federativa do Brasil (1988), Artigo 20, inciso IV, são considerados bens da União as ilhas fluviais e lacustres que estão localizadas na zona limítrofe com outros países, as praias marítimas, ilhas oceânicas e costeiras, excluídas aquelas que possuem a sede de municípios, exceto aquelas que áreas afetadas ao serviço público, e a unidade ambiental federal e as referidas no artigo 26, inciso II. Dessa forma, a Ilha de Trindade, não pertence ao município de Vitória.

Trindade é caracterizada por um relevo íngreme, a sua parte emersa possui forma de cimo erodido e repousa sobre um assoalho de mais de 5.500m de profundidade e os pontos mais altos da Ilha (Pico do Desejado e Fazendinha) apresentam altitudes de aproximadamente 600m em relação ao nível do mar (ALVES,1998; CASTRO, 2010).

A Ilha foi soerguida há aproximadamente 3 milhões de anos da zona abissal do Atlântico através de vulcanismo básico e misto (MARTINS & ALVES, 2007). Trindade foi formada a partir de cinco eventos vulcânicos, sendo o episódio mais antigo visível acima da linha mar, o Complexo Trindade, que forma o complexo basal da Ilha, e é caracterizado por um conjunto heterogêneo de rochas intrusivas piroclásticas. Após um longo período de erosão ocorreram os outros quatro eventos vulcânicos, esses eventos sucessivos foram chamados de Sequência Desejado, Formação Morro Vermelho, Formação Valado e Vulcão do Paredão, em ordem cronológica (SANTOS, 2001; CASTRO, 2010).

A diversidade de solos encontrados em Trindade é diretamente relacionada com as variações de material de origem vulcânica e a sua posição

altimétrica (RAMOS, 1950). Dessa forma, de uma maneira geral, o solo da Ilha de Trindade é naturalmente bastante fértil e possui um grau de intemperismo pouco acentuado (CASTRO & ANTONELLO, 2006). O desmatamento sofrido pela Ilha durante a ocupação dos açorianos e pelos rebanhos fez com que a Ilha perdesse de 1 a 2 metros de seus solos férteis por erosão (COMANDO DO 1º DISTRITO NAVAL, 2006).

O mês mais quente na Ilha é Fevereiro, durante esse mês a temperatura média é de 30°C e o mês mais frio é Agosto, com temperatura média de 17°C. A Ilha possui um clima oceânico tropical, com temperatura média anual de 25°C, o clima é amenizado pelos ventos alísios do leste e do sudeste. Entre os meses de Abril e Outubro a Ilha sofre invasões periódicas de frentes frias normalmente vindas da Antártica (SOARES, 1964; COMANDO DO 1º DISTRITO NAVAL, 2006).

Quase todos os dias ocorrem chuvas rápidas que recebem o nome de Pirajás, essa alta frequência de chuvas ocorre devido à altura de Trindade, que possui aproximadamente 600m de altitude, formando assim um obstáculo para as nuvens carregadas, que acabam precipitando ao chocarem com a ilha. A Ilha da Trindade possui diversos córregos de água doce, elas são provenientes da precipitação, os horizontes superiores do solo absorvem e armazenam a água, que posteriormente irá aflorar em locais mais baixos, desse modo as nascentes são formadas (ALVES, 1998; GUSMÃO 2005).

As águas que circundam a ilha são pertencentes a corrente do Brasil e com alta salinidade (37) e possuem uma temperatura de 27°C, são muito transparentes e sua visibilidade pode chegar a 50m (GUSMÃO, 2005).

3.3. Fauna e Flora da Ilha da Trindade

Normalmente as ilhas oceânicas possuem uma biodiversidade particular, elas cobrem um pequeno percentual do planeta (aproximadamente 5%), porém cerca de 1/3 das espécies ameaçadas de mamíferos, aves e anfíbios estão nelas. O número de espécies endêmicas nas ilhas oceânicas é muito alto, maior que no continente, isso se deve a diversos fatores como o espaço geográfico restrito e único, as interações bióticas e abióticas, além da menor variabilidade genética (FRANKHAM, 1997; WALTER, 2004).

Em 1783, a ilha foi colonizada por cerca de 130 açorianos e junto foram introduzidos rebanhos de animais como cabras, ovelhas, porcos e jericos. Durante os doze anos de ocupação, eles retiraram a madeira da árvore Columbrina, confundida na época com o Pau-Brasil. Quando desocuparam a ilha desistindo de colonizá-la, deixaram para trás, os rebanhos que foram se reproduzindo livremente. Os rebanhos de cabras e ovelhas chegaram a mais de mil indivíduos e o de porcos a algumas centenas. (COMANDO DO 1º DISTRITO NAVAL, 2006; MARTINS & ALVES, 2007).

A partir de 1965, somente o rebanho de caprinos sobrevivia na Ilha, porém a vegetação da Ilha foi bem degradada, e segundo Martins & Alves (2007) era possível apenas encontrar numerosos troncos das Columbrinas, todos já caídos e em decomposição. Para tentar recuperar a vegetação e as nascentes de água, que também estavam sendo afetadas pelo rebanho, o Prof. Ruy Alves e o Prof. Johann Becker (Museu Nacional) propuseram um projeto de recuperação da ilha e a Marinha não mediu esforços para começar a eliminar o rebanho e a última cabra foi eliminada em 2004 (MARTINS & ALVES, 2007).

A avifauna da Ilha da Trindade é composta por espécies residentes, migratórias e visitantes. A *Pterodroma arminjoniana* (Grazina-de-Trindade, conhecida também como Petrel) tem distribuição restrita à Ilha de Trindade (Oceano Atlântico) e as Ilhas Round (Oceano Índico), em Trindade ela possui ampla distribuição espacial, dessa forma, podem ser encontradas nidificando nas grutas e abrigos existentes nos paredões rochosos, principalmente nas regiões sul e sudeste da Ilha. Também é possível encontrar em Trindade o Atobá-mascarado (*Sula dactylatra*), a *Fregatta minor* e a *Fregatta ariel* (tesourão grande e pequeno respectivamente). As espécies *Anous stolidus* (Trinta-réis escuro), *Onychoprion fuscatus* (trinta-réis-das-rocas) e *Gygis alba* são encontradas em grande quantidade em toda a Ilha de Trindade, provavelmente a colônia local de *Gygis alba* é a segunda maior do Atlântico Sul, sendo que a primeira fica na Ilha de Ascensão (FONSECA NETO, 2004).

Na região da ilha é possível observar algumas espécies de crustáceos, caranguejos e lagosta, sendo que os caranguejos são encontrados em maior quantidade. Na zona entre marés ocorre em abundância o caranguejo conhecido como aratu (*Grapsus grapsus*), que possuem uma coloração viva. Outra espécie de caranguejo é o caranguejo-amarelo (*Gecarcinus lagostoma*), que ocorre em maior abundância na Ilha, ele se alimenta de uma quantidade enorme de diferentes itens, como folhas e sementes das amendoeiras, restos de animais, ovos e filhotes de tartarugas, entre outros. O caranguejo-amarelo ocorre desde áreas de praia até topo do Pico do Desejado. (OLIVEIRA, 1951)

A Ilha de Trindade possui uma ictiofauna ainda pouco conhecida que conta com 115 espécies de peixes. As famílias mais abundantes são *Carangidae* (com 9 espécies), *Serranidae* (9 espécies), *Labridae* (Sete

espécies), *Pomacentridae* (5 espécies) e *Muraenidae* (cinco espécies). Já os gêneros mais abundantes encontrados em Trindade são *Halichoeres*, *Sparisoma*, *Mycteroperca* e *Caranx* cada um com três espécies (GASPARINI & FLOETER, 2001; PINHEIRO & GASPARINI, 2009). Porém, o peixe encontrado em maior quantidade na Ilha da Trindade é a Pufa (*Melichthys niger*), sendo comuns cardumes com mais de 200 indivíduos, dessa forma, essa espécie é a que contribui com a maior parte da biomassa de peixes (GASPARINI & FLOETER, 2001).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Trabalho de campo: coleta das amostras

Durante os períodos de Março a Maio de 2011 e de Novembro de 2011 a Fevereiro de 2012 realizaram-se duas atividades de coleta na Ilha da Trindade. A Figura 2 apresenta o mapa da Ilha da Trindade com os pontos onde foram realizadas as coletas.

Durante esses dois períodos, coletou-se amostras de duas espécies de caranguejo o *Gecarcinus lagostoma*, conhecido como caranguejo-amarelo (Figura 3), e o *Grapsus grapsus*, conhecido como aratu (Figura 4).

A coleta dos caranguejos realizou-se por meio de um puçá. Imediatamente após a coleta os caranguejos foram identificados, pesados e colocados no congelador para serem sacrificados por hipotermia. Depois eram descongelados e medidos. Para o estudo, foi escolhido o tecido muscular das patas e quelípodos, que depois de retirados do caranguejo eram identificados e armazenados em sacos de polietileno e congelados novamente para posterior análise em laboratório.

Figura 3: Caranguejo-amarelo (*Gecarcinus lagostoma*).

Figura 4: Caranguejo Aratu (*Grapsus grapsus*)

Para os peixes, coletou-se um determinado número de indivíduos para formar uma amostra compostas (*pool*). Houve diferença entre os números de indivíduos que compunham a amostra composta devido ao tamanho de cada espécie.

Os peixes, conhecidos popularmente como pufa (*Melichthys niger*) na Ilha da Trindade (Figura 5) e as sardinhas (*Harengula sp.*), foram coletados

com o auxílio de uma tarrafa e separados aleatoriamente nas amostras compostas. Essas continham dez indivíduos de *Harengula sp.* e cinco indivíduos de *M. niger*, formando um total de 280 indivíduos coletados de *Harengula sp.*, e 295 indivíduos de *M. niger*. No caso dos peixes, foram amostrados o fígado e o músculo, as amostras foram identificadas, guardadas em sacos de polietileno e congeladas para análise em laboratório.

Figura 5: Pufa (*Melichthys niger*).

No trabalho de campo, também houve a oportunidade de coletar três espécies de aves. A quantidade coletada foi pequena, pois, a maioria das colônias reprodutivas localizava-se em lugares inacessíveis como no alto dos morros ou em rochas no meio do mar. Somente foram coletadas as aves encontradas mortas no qual os órgãos não estivessem em estado avançado de decomposição. As três diferentes espécies de aves coletadas foram: *Onychoprion fuscatus*, *Pterodroma arminjoniana* e *Anous stolidus* (Figura 6).

Após a coleta realizou-se a biometria de cada indivíduo e foram retiradas amostras do tecido de muscular e hepático que depois eram armazenados em sacos de polietileno, identificados e imediatamente congelados.

Figura 6: Viuvinha (*Anous stolidus*).

4.2. Preparação das amostras

Antes da realização da digestão ácida para a quantificação dos elementos potencialmente tóxicos, liofilizou-se todas as amostras congeladas, com exceção das amostras de fígado de *Melichthys niger* e das amostras de fígado, por conterem uma alta concentração de gordura, e músculo de aves, pela massa ser pequena. Após a liofilização as amostras foram maceradas e devidamente armazenadas.

Para as amostras que não foram liofilizadas, a digestão foi realizada com o material úmido, no entanto, foi calculada a porcentagem de água presente nas mesmas.

4.3. Métodos e validações dos métodos

Todos os reagentes utilizados para a realização dos dois métodos de digestão ácida foram de grau analítico. A seguir serão detalhadas os métodos utilizados.

4.3.1. Método de digestão ácida para análise dos metais e semimetais.

Para a quantificação dos metais e semimetais (Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se e Zn), o material biológico coletado foi submetido a uma digestão ácida, baseada no método de Moreira (2010). Antes da realização da digestão das amostras, foram feitos diferentes testes para verificar se havia diferença entre tubos de teflon ou vidro, e para saber qual seriam a melhor massa e volume final. Após a realização dos testes, optou-se por utilizar ambos os tubos, e a massa de 0,35 g para um volume final de 35 mL.

No método estabelecido (Figura 7) pesou-se uma alíquota de 0,35 g da amostra e adicionou-se 4 mL de ácido nítrico (HNO_3) concentrado. Os frascos foram fechados e deixados em repouso por 8 horas. Após esse período adicionou-se 1 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) 30%, em seguida os frascos foram novamente fechados e mantidos em repouso por aproximadamente 15 horas. Para finalizar a digestão ácida as amostras foram colocadas em bloco digestor por 3 horas a uma temperatura de 90°C. Após o resfriamento o volume foi completado até 35 mL com água deionizada. Os frascos foram homogeneizados por agitação.

As diferenças entre o método utilizado e o de Moreira (2010) foram o volume final e o material do tubo. Nesse estudo o volume final foi de 35 mL e no método usado por Moreira (2010) foi de 25 mL. Durante as digestões foram utilizados tubos de teflon e vidro, enquanto Moreira (2010) utilizou somente tubos de teflon.

Figura 7: Fluxograma da digestão dos metais e semimetais.

4.3.2. Método para a análise de mercúrio

O método para a quantificação de Hg (Figura 8) foi baseada no método 7471B (USEPA, 2007). Esse método foi desenvolvido para a digestão de sedimento, solos, lodos e resíduos sólidos ou semissólidos, porém, nesse estudo o mesmo método foi aplicado para a análise de Hg em organismos e obteve ótimos resultados.

Para a realização desse método foi pesado uma alíquota de 0,6 g da amostra em tubos de polipropileno de 50 mL. Adicionou-se 1,7 mL de água deionizada aos tubos e a mesma quantidade de água régia (uma mistura de

ácido clorídrico (HCl) e HNO_3 na proporção de 3:1, respectivamente), os reagentes em questão possuíam baixa concentração de Hg. Os tubos de polipropileno com as amostras foram aquecidos em banho-maria por 2 minutos a 90°C , após serem retirados do banho esperou-se até que as amostras chegassem a temperatura ambiente. Adicionou-se 4,9 mL de permanganato de potássio e 16,4 mL de água deionizada e essa solução foi novamente levada ao banho-maria a 90°C por cerca de 30 minutos. Após resfriamento a temperatura ambiente adicionou-se 2,0 mL de cloridrato de hidroxilamina, as amostras foram então filtradas e avolumadas para 40 mL com água deionizada.

Figura 8: Fluxograma da digestão do Hg.

4.4. Espectrometria de Emissão Óptica com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES)

A quantificação da concentração dos elementos potencialmente tóxicos nas amostras foi realizada por meio da técnica de ICP-OES e a quantificação

do Hg foi realizada por meio da técnica de VGA acoplado ao ICP-OES. A técnica de ICP-OES é rápida, bastante sensível e uma ferramenta analítica poderosa para a quantificação de elementos em níveis de mg kg^{-1} ou $\mu\text{g kg}^{-1}$ em diferentes matrizes (HOU & JONES, 2008).

A técnica de ICP-OES se baseia na emissão espontânea de fótons a partir de átomos e íons excitados por uma descarga de radiofrequência. Amostras gasosas ou líquidas podem ser colocadas diretamente no equipamento, enquanto amostras sólidas precisam passar por uma extração ou digestão ácida para os analitos ficarem presentes em solução (HOU & JONES, 2008).

Para a realização da quantificação dos elementos a amostra em solução é convertida em um aerossol e dirigida para dentro do canal central do plasma, a tocha do ICP-OES contém três tubos de gás concêntricos, o externo, o intermediário e o interno. O plasma mantém uma temperatura de aproximadamente 10.000 K, essa temperatura permanece alta devido ao fluxo de argônio externo (HOU & JONES, 2008; SKOOG et al. 1998).

Os elementos contidos na amostra são liberados como átomos livres no estado gasoso. A excitação gerada pelas colisões no interior do plasma transmite uma energia adicional aos átomos promovendo-os a um estado excitado. Frequentemente também está disponível uma energia que é suficiente para converter os átomos em íons (ionização), e posteriormente esses íons em íons excitados. Tanto os átomos excitados quanto os íons excitados, podem voltar ao seu estado fundamental por meio da emissão de um fóton (HOU & JONES, 2008; SKOOG et al. 1998).

Os fótons liberados possuem energias características, que são determinadas pela estrutura do nível de energia quantizada para esses átomos e íons que o produziram, ou seja, cada comprimento de onda produzido por um fóton pode ser utilizado para determinar o elemento a partir do qual ele foi originado. O número total de fótons é diretamente proporcional à concentração do elemento originário na solução da amostra (HOU & JONES, 2008; SKOOG et al. 1998).

O ICP-OES em comparação com outras técnicas analíticas possui uma temperatura elevada, um ambiente mais inerte, e a capacidade de determinar simultaneamente até 70 elementos. Isso torna o ICP menos suscetível a interferências de matriz, e quando elas ocorrem ele tem uma maior capacidade de corrigi-las (HOU & JONES, 2008; SKOOG et al. 1998).

O ICP-OES marca VARIAN, modelo 710ES (Figura 9), instalado no Departamento de Oceanografia Física, Química e Geológica do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo é multielementar e possui sistema óptico simultâneo, ou seja, o instrumento mede o espectro de emissão característico de cada elemento e tem capacidade de quantificar vários elementos em uma mesma corrida.

Figura 9: Equipamento ICP-OES com o sistema de VGA acoplado instalado no Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.

4.5. Determinação de metais e semimetais em materiais de referência certificados.

Foram digeridas alíquotas de material de referência certificado (MRC) em matriz biológica para verificar a qualidade da metodologia de digestão e as técnicas de quantificação dos elementos avaliados.

Na Tabela 1 têm-se os resultados obtidos por meio da digestão ácida do material de referência certificado, SRM-2976 (NIST, tecido de mexilhão), no qual foram quantificados os seguintes elementos: Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se e Zn. E na Tabela 2 têm-se os resultados obtidos por meio da digestão ácida do material de referência certificado, DORM-2 (National Research Council Canada, tecido muscular *Squalus acanthias*) para a quantificação do Hg.

Tabela 1: Resultados do SRM–2976, em mg kg⁻¹.

	Al	As	Cd	Cu	Fe
Valor certificado	134,0±34,0	13,3±1,8	0,8±0,1	4,0±0,3	171,0±4,9
Valor obtido (n=8)	112,5± 15,3	13,4±0,2	0,70± 0,04	4,3±0,2	139,9±3,0
DPR(%)	13,6	1,9	5,5	5,6	2,1
Erro(%)	16,0	0,6	9,3	8,1	18,1
	Mn	Ni	Pb	Se	Zn
Valor certificado	33,2± 2,0	0,9±0,1	1,2±0,2	1,8±0,1	137,0±13,0
Valor Obtido (n=8)	31,7±1,0	0,8± 0,2	1,20± 0,06	2,1± 0,3	133,2±3,0
DPR(%)	3,3	21,4	5,1	17,1	2,3
Erro(%)	4,0	7,1	0,6	18,3	2,7

Tabela 2: Resultado do DORM-2, em mg kg⁻¹.

	Hg
Valor certificado	4,64±0,26
Valor Obtido (n=8)	4,54±0,21
DPR(%)	4,56
Erro(%)	2,28

A partir dos resultados obtidos dos materiais de referência certificado, foram construídas Cartas Controles (CC). A CC é uma ferramenta capaz de verificar a reprodutibilidade de um procedimento analítico (MULLINS,1994). Uma CC é construída utilizando o valor da média dos dados (CL) e de dois limites de controle: um superior (UCL) e um inferior (LCL). Os limites de

controle, tanto inferior quanto o superior, correspondem a um afastamento igual a três desvios-padrões (3σ) em relação a média.

A escolha desses limites é baseada na suposição de que a distribuição de frequência dos erros segue uma curva de distribuição normal. O intervalo entre UCL e LCL corresponde a 99,7% da gaussiana (MULLINS, 1994). Portanto, a CC indica que há uma falta de controle do processo se um valor estiver fora dos intervalos, desse modo ele possui uma baixa probabilidade de pertencer ao conjunto de dados analisados (RIBEIRO, 2006).

Os gráficos abaixo (Figura 10) apresentam as CC feitas para as digestões do MRC. É possível observar que existe uma flutuação aleatória em torno da média, porém todos os resultados obtidos ficaram dentro dos limites, o que indica que há um controle do processo analítico adotado. Os desvios padrões relativos baixos para esses resultados corroboraram com esta afirmação.

Figura 10: Cartas controle dos metais e semimetais.

Os resultados obtidos nos MRC mostraram a adequação da metodologia para determinação dos elementos de interesse em materiais biológicos. A partir disso, essas metodologias foram aplicadas nas amostras coletadas na Ilha da Trindade, os resultados obtidos dos metais e semimetais quantificados foram tratados estatisticamente por meio das ferramentas estatísticas descritas no item 4.6.

4.6. Limites de Detecção do Equipamento, Limites de Quantificação, considerando o fator de diluição, e Comprimentos de Onda.

O limite de detecção do equipamento (LDE) é definido como a concentração do analito capaz de produzir um sinal de 3 a 5 vezes a razão sinal/ruído do equipamento, já o limite de quantificação (LQ) é a menor concentração do analito que pode ser determinada com um nível aceitável de exatidão e precisão (INMETRO, 2007).

Segundo a CRF 40 (US CFR, 2011), o LDE pode ser definido como a concentração mínima da substância que pode ser medida e reportada com 99% de confiança de que a concentração do analito é maior que zero e é determinada por meio de uma análise da amostra de uma dada matriz que contenha o analito. Para esse estudo o LDE foi determinado segundo a CFR 40 (US CFR, 2011) a partir da multiplicação do desvio-padrão, obtido pela leitura de sete soluções com concentrações conhecidas produzidas a partir de soluções padrões, pelo t - Student, para um valor de 99% de confiança. O limite de detecção do método (LDM) considerado nesse estudo é o resultado do LDE multiplicado pela massa dividida pelo volume final do método. Por último foi

calculado o limite de quantificação do método (LQM), para isso o LDM foi multiplicado por três que corresponde a um nível de incerteza de 30%.

A Tabela 3 apresenta os comprimentos de onda utilizados para a determinação dos elementos quantificados nesse estudo, o LQM e o LDM considerados.

Tabela 3: Comprimentos de onda, limite de quantificação do método e limite de detecção do método dos elementos estudados.

Elemento	Comprimento de onda (nm)	LQM (mg kg⁻¹)⁼	LDM (mg kg⁻¹)
Al	396,152	1,94	0,64
As	188,980	2,96	0,98
Cd	214,439	0,38	0,13
Cu	327,395	0,42	0,14
Fe	238,204	1,43	0,48
Mn	257,610	0,45	0,15
Ni	231,604	0,31	0,10
Pb	220,353	0,80	0,27
Se	196,026	4,65	1,55
Zn	213,857	0,93	0,31
Hg	194,164	17,7*	5,9*

*: Valores de LQM e LDM do Hg estão em µg kg⁻¹

4.7. Tratamentos estatísticos

Antes dos tratamentos estatísticos serem realizados retiraram-se dos resultados os valores que ficaram abaixo do LQM. Para os resultados obtidos dos tecidos de peixe e caranguejo, primeiramente realizou-se *box-plots* dos metais e semimetais quantificados em cada espécie. Os valores de *outliers*, apresentados pelos *box-plots*, também, foram retirados antes dos demais tratamentos. As médias, desvios-padrões e os valores de máximo e mínimo apresentados, foram calculados com as amostras da primeira e segunda coleta, sem os valores de *outliers* e os valores abaixo de LQM.

Após a parte descritiva foram realizadas análises de variância (ANOVA) multivariada, porém antes da análise foram aplicados testes de normalidade, teste de Shapiro-Wilk e, de homocedasticidade, teste de Levene, porém, mesmo quando os resultados não obtinham uma distribuição normal, os tratamentos estatísticos prosseguiram, devido a ANOVA ser um teste robusto e ao grande número de amostras analisadas (UNDERWOOD, 1997). Realizou-se um teste a posteriori, teste de Tukey HSD, quando diferenças significativas entre os resultados analisados após a ANOVA foram observados. O Tukey HSD foi aplicado para saber onde essa diferença era encontrada.

Por último uma correlação entre a biomassa e as concentrações de metais encontradas e o comprimento dos indivíduos com as concentrações foram realizadas para verificar se existia alguma relação.

Para as aves foi realizada uma estatística descritiva e o teste de Kruskal–Wallis, uma alternativa não paramétrica da análise de variância. O teste realizado foi não-paramétrico devido a pequena quantidade de amostras

de aves de uma mesma espécie coletada. Já para os resultados de Hg, foram somente realizadas estatísticas descritivas para todos os tecidos analisados.

Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa *Statistica* 12.0.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados os resultados obtidos nesse trabalho. Foi analisado um total de 300 amostras, constituídas de: músculo de caranguejos (*Gecarcinus lagostoma* e *Grapsus grapsus*), músculo e fígado de peixes (*Melichthys niger* e *Harengula sp.*) e músculo e fígado de aves (*Onychoprion fuscatus*, *Pterodroma arminjoniana* e *Anous stolidus*) nos quais foram quantificados os seguintes elementos: Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se e Zn.

A Tabela 4 apresenta a quantidade de amostras analisadas de cada tecido em cada espécie, no entanto, os tecidos de *Harengula sp.* só foram amostrados na segunda coleta. Devido a grande dificuldade de se encontrar aves mortas em locais acessíveis foram amostradas sete aves nas duas coletas.

Tabela 4: Quantidade total das amostras analisadas nos organismos marinhos coletados na Ilha da Trindade.

		1ª coleta	2ª coleta	Total
<i>G. grapsus</i>	Músculo	26	30	56
<i>G. lagostoma</i>	Músculo	30	30	60
<i>Harengula sp.</i>	Músculo	-	28	28
	Fígado	-	28	28
<i>M. niger</i>	Músculo	29	26	55
	Fígado	29	30	59
<i>P. arminjoniana</i>	Músculo	1	4	5
	Fígado	1	4	5
<i>O. fuscatus</i>	Músculo	1	-	1
	Fígado	1	-	1
<i>A. stolidus</i>	Músculo	1	-	1
	Fígado	1	-	1

Por último, foram analisadas um total de 20 amostras de tecido muscular para a quantificação de Hg, constituídas de 5 amostras de *Gecarcinus lagostoma* e 5 amostras de *Grapsus grapsus*, 5 amostras de *Melichthys niger* e 5 amostras de *Harengula* sp.

Os dados brutos das quantificações dos elementos potencialmente tóxicos nas espécies estão nos apêndices (Apêndice A-G).

5.1. Determinação dos metais e semimetais em caranguejos, peixes e aves na Ilha da Trindade

Primeiramente a partir dos resultados das quantificações dos metais e semimetais realizadas nos organismos coletados construíram-se *blox-plots* de cada elemento para cada tecido. Dessa forma, foi possível remover os valores de *outliers*.

A Tabela 5 apresenta os elementos retirados do tratamento estatístico em cada tecido de cada espécie, por conter pouca ou nenhuma amostra acima do LQM.

Tabela 5: Elementos retirados das análises estatísticas de cada espécie nos diferentes tecidos analisados.

	Elementos retirados	
	Músculo	Fígado
<i>G. grapsus</i>	Cd, Pb, Se	*
<i>G. lagostoma</i>	Pb, Se	*
<i>M. niger</i>	Cd, Pb, Se	Pb, Se
<i>Harengula</i> sp.	Cd, Pb, Se	Pb
<i>O. fuscatus</i>	As	Ni, Pb
<i>A. stolidus</i>	Cd	Ni, Pb
<i>P. arminjoniana</i>	Cd, Mn, Ni, Pb, Se	Ni, Pb

* Nos caranguejos foram quantificados os elementos somente em músculo.

As Figuras 11 a 17 apresentam os *box-plots* dos elementos quantificados que ficaram acima do LQM de músculo dos caranguejos e músculo e fígado dos peixes. As Tabelas de 6 a 8 apresentam a média, o desvio-padrão, os valores máximos e mínimos e o número de amostras consideradas para o tratamento estatístico para os elementos quantificados, desconsiderando os valores extremos e os *outliers* apresentados pelos *box-plots*, e os valores abaixo do LQM.

As Figuras 11 (A-G) e 12 (A-H) apresentam os *box-plots* dos elementos quantificados nos caranguejos *G. grapsus* e *G. lagostoma*, respectivamente. A Tabela 6 apresentam os dados de concentração para ambas as espécies.

Figura 11: *Box-plots* dos elementos quantificados em *G. grapsus*. Concentrações em mg kg⁻¹.

Figura 12: *Box-plots* dos elementos quantificados em *G. lagostoma*. Concentrações em mg kg⁻¹.

Tabela 6: Concentrações, em mg kg⁻¹, dos metais e semimetais em músculo de *G. grapsus* e *G. lagostoma* da Ilha da Trindade.

	<i>G. grapsus</i>			<i>G. lagostoma</i>		
	$\bar{X} \pm DP$	Min-Max	n	$\bar{X} \pm DP$	Min-Max	n
Al	32±14	13,7 - 70,1	52	41±18	15,4 - 86,7	58
As	18±9	6,3 - 39,3	53	19,3±19,1	3,1 - 69,7	37
Cd	<LQM	-		0,5±0,1	0,4 - 1,1	24
Cu	36±10	15,5 - 62,6	54	59±13	30,2 - 83,4	58
Fe	48±35	12,6 - 142,5	53	47±21	15,7 - 109,7	57
Mn	1,4±0,6	0,5 - 3,1	56	1,9±0,6	0,7 - 3,3	57
Ni	0,7±0,3	0,3 - 1,4	54	0,5±0,1	0,3 - 0,9	49
Pb	<LQM	-	-	<LQM	-	-
Se	<LQM	-	-	<LQM	-	-
Zn	110±23	65,3- 170,0	56	238±27	195,4 - 299,4	60

n – número de amostras consideradas para o tratamento estatístico, desconsiderando os valores extremos e os *outliers* apresentados pelos *box-plots*, e os valores abaixo do LQM.

É possível perceber que a concentração média do Al, Cu e Zn são maiores para o *G. lagostoma* do que para *G. grapsus*, enquanto que para os demais elementos as concentrações médias são parecidas entre as duas espécies.

A Figura 13 (A-G) e a Figura 14 (A-H) apresentam os *box-plots* dos elementos quantificados para músculos de *M. niger* e *Harengula sp*, acima do LQM, respectivamente. As Figuras 15 (A-H) e 16 (A-I) apresentam os *box-plots* dos elementos quantificados em fígado de *M. niger* e *Harengula sp*, acima do LQM, respectivamente. A Tabela 7 e a Tabela 8 apresentam os dados para os elementos quantificados no tecido muscular e no tecido hepático das duas espécies de peixes, respectivamente.

Figura 13: *Box-plots* dos elementos quantificados no músculo de *M. niger*. Concentrações em mg kg⁻¹.

Figura 14: *Box-plots* dos elementos quantificados no músculo de *Harengula sp.* Concentrações em mg kg⁻¹.

Figura 15: *Box-plots* dos elementos quantificados no fígado de *M. niger*. Concentrações em mg kg⁻¹.

Figura 16: *Box-plots* dos elementos quantificados no fígado de *Harengula sp.* Concentrações em mg kg^{-1} .

Tabela 7: Concentrações, em mg kg⁻¹, dos metais e semimetais em músculo de *M. niger* e *Harengula sp.*

	<i>M. niger</i>			<i>Harengula sp.</i>		
	$\bar{X} \pm DP$	Min-Max	N	$\bar{X} \pm DP$	Min - Max	n
Al	18±11	4,3 - 46,4	55	11±5	4,9 - 24,9	26
As	27±6	15,8 - 46,4	53	40±6	28,9 - 49,9	28
Cd	<LQM	-	-	<LQM	-	-
Cu	1,2±0,5	0,57- 2,7	52	2,1±0,4	1,2 - 3,1	25
Fe	18±5	10,9 - 29,9	51	39±11	23,5 - 64,8	26
Mn	1,0±0,2	0,5 - 1,4	49	1,2±0,3	0,5 - 2,0	26
Ni	0,5±0,2	0,31 - 1,1	41	0,4±0,1	0,3 - 0,7	16
Pb	<LQM	-	-	<LQM	-	-
Se	<LQM	-	-	<LQM	-	-
Zn	19±4	13,8 - 27,7	56	26±6	15,7 - 37,5	28

n – número de amostras consideradas para o tratamento estatístico, desconsiderando os valores extremos e os *outliers* apresentados pelos *box-plots*, e os valores abaixo do LQM.

Tabela 8: Concentrações, em mg kg⁻¹, dos metais e semimetais em fígado de *M. niger* e *Harengula sp.*

	<i>M. niger</i>			<i>Harengula sp.</i>		
	$\bar{X} \pm DP$	Min - Max	N	$\bar{X} \pm DP$	Min - Max	n
Al	12±3	4,7 - 19,7	53	24±14	9,2 - 56,10	27
As	12±4	6,2 - 23,9	56	66±14	41,3 - 93,6	27
Cd	7±4	1,85 - 16,6	55	3,6±0,7	2,4 - 4,8	27
Cu	4±2	1,6 - 10,0	55	8±1	5,7 - 10,6	25
Fe	194±122	22,3 - 514,3	56	656±144	444,9 - 996,3	27
Mn	5±2	1,0 - 9,6	57	3,7±0,9	1,3 - 5,9	26
Ni	0,5±0,1	0,3 - 0,8	49	0,5±0,1	0,3 - 0,7	17
Pb	<LQM	-	-	<LQM	-	-
Se	<LQM	-	-	28±4	21,3 - 37,6	26
Zn	173±88	26,2 - 400,0	58	91±13	75,4 - 112,2	27

n – número de amostras consideradas para o tratamento estatístico, desconsiderando os valores extremos e os *outliers* apresentados pelos *box-plots*, e os valores abaixo do LQM.

A Tabela 9 apresenta a mediana, o desvio padrão, os valores mínimo e máximo e o número de amostras consideradas para o tratamento estatístico nas análises dos cinco indivíduos de *P. arminjoniana*.

Nessa espécie, em músculo, o Mn e o Ni foram quantificados em apenas duas amostras acima do LQM e o Pb e Se em apenas uma. A média encontrada para Mn nessas duas amostras foi de $4,5 \pm 2,5 \text{ mg kg}^{-1}$, para Ni foi de $1,6 \pm 1,3 \text{ mg kg}^{-1}$, mostrando grande dispersão nos resultados obtidos. O valor encontrado na única amostra de Pb foi de $4,5 \text{ mg kg}^{-1}$ e de Se foi de $7,9 \text{ mg kg}^{-1}$, devido ao pequeno número de amostras acima do LQM, esses elementos e o Cd não foram considerados no tratamento estatístico.

Tabela 9: Mediana, desvio padrão, valores mínimo e máximo dos elementos quantificados em *P. arminjoniana*, Concentrações em mg kg^{-1} .

	Músculo				Fígado			
	Med.	DP	Mín - Max	n	Med.	DP.	Mín - Max	N
Al	4,9	29,0	4,6 - 72,0	5	5,2	1,3	4,7 - 7,58	5
As	8,7	11,2	5,0 - 31,5	5	14,2	12,9	6,9 - 39,4	5
Cd	-	-	-	-	1,5	0,9	0,4 - 2,7	5
Cu	2,1	2,7	1,4 - 8,0	5	16,7	83,2	4,6 - 199,1	5
Fe	72,6	282,6	43,5 – 711,1	5	925,3	1649,6	271,0 - 4354,9	5
Mn	-	-	-	-	3,0	2,7	1,8 - 8,7	5
Ni	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-
Se	-	-	-	-	15,6	9,3	6,3 - 26,3	5
Zn	48,9	15,8	18,7 – 54,9	5	121,1	61,2	68,1 - 228,0	5

n – número de amostras consideradas para o tratamento estatístico, desconsiderando os valores extremos e os *outliers* apresentados pelos *box-plots*, e os valores abaixo do LQM.

A Tabela 10 apresenta as concentrações quantificadas no tecido muscular e no tecido hepático dos indivíduos de *O. fuscatus* e *A. stolidus*

coletados. As maiores concentrações dos elementos potencialmente tóxicos foram encontradas no indivíduo de *A. stolidus*, com a exceção do Ni, que a maior concentração foi encontrada em *O. fuscatus*.

Tabela 10: Concentrações dos elementos quantificados em *O. fuscatus* e *A. stolidus*. Concentrações em mg kg⁻¹.

	<i>Onychopryon fuscatus</i>		<i>Anous stolidus</i>	
	Músculo	Fígado	Músculo	Fígado
Al	11,6	5,2	44,9	7,0
As	<LQM	3,5	24,8	32,6
Cd	1,4	24,7	>LQM	1,0
Cu	5,1	10,6	33,53	12,11
Fe	193,6	780,6	707,1	2034,0
Mn	1,35	8,5	1,7	7,4
Ni	0,61	<LQM	0,4	<LQM
Pb	0,34	<LQM	1,61	<LQM
Se	5,0	21,7	58,2	32,9
Zn	23,2	111,8	183,0	147,6

5.2. Análise estatística dos dados

Após a parte descritiva, foram realizados os testes de ANOVA. Para as duas espécies de caranguejos os testes de ANOVA compararam a concentração do elemento com o sexo e a concentração com a estação do ano. Tanto para *G. grapsus* (Figura 17) quanto para *G. lagostoma* (Figura 18) a ANOVA mostrou que existe uma diferença significativa ($p < 0,05$) entre as concentrações e o sexo, portanto foi realizado o teste a posteriori de Tukey para descobrir em quais elementos essas diferenças eram encontradas.

O teste de Tukey mostrou que somente as concentrações de Zn são significativamente diferentes ($p < 0,05$) entre machos e fêmeas de ambas as espécies. As concentrações médias nas duas espécies foram maiores nos machos do que nas fêmeas. Para *G. grapsus* a concentração média de Zn encontrada entre os machos foi de $120 \pm 20 \text{ mg kg}^{-1}$ e nas fêmeas de $98 \pm 21 \text{ mg kg}^{-1}$. Enquanto, que para a espécie *G. lagostoma*, a concentração média encontrada nos machos foi de $249 \pm 27 \text{ mg kg}^{-1}$ e para as fêmeas dessa espécie de $222 \pm 21 \text{ mg kg}^{-1}$.

Figura 17: Concentração, em mg kg^{-1} , dos metais e semimetais por sexo em *G. grapsus*.

Figura 18: Concentração, em mg kg⁻¹, dos metais e semimetais por sexo em *G. lagostoma*.

Em dados encontrados na literatura normalmente não são apresentadas diferenças significativas nas concentrações dos metais em relação ao sexo. Beltrame *et al.* (2010) analisou o hepatopâncreas da espécie *Neohelice granulata* e não observou diferenças significativas na concentração de Cd, Cromo (Cr) e Mn entre machos e fêmeas. Turoczy *et al.* (2001) analisou Cd, Cu, Hg e Zn em músculo de patas, quelas e do corpo, e também no hepatopâncreas e brânquias do caranguejo *Pseudocarcinus gigas* nas águas do sudeste Australiano, não foram encontradas diferenças significativas em nenhum desses tecidos analisados.

Norum *et al.* (2003) quantificou as concentrações de Cu e Zn em diferentes tecidos durante o ciclo de muda dos caranguejos *Carcinus maenas*, considerando o corpo todo do caranguejo e, não houve diferença nas concentrações desses elementos durante as diferentes fases do ciclo de muda. No estudo de Ayas & Ozogul (2011) não foram encontradas diferenças

significativas na concentração em relação ao sexo no nordeste do Mar Mediterrâneo, na Baía Mersin, na Turquia, no qual foram quantificados Cd, Cr, Pb, Cu, Zn e Fe nos músculos das quelas e do corpo de siris da espécie *Callinectes sapidus*.

O segundo teste de ANOVA realizado nas espécies de caranguejo também mostrou que houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as concentrações e as estações. Como já dito anteriormente, a primeira coleta foi realizada entre os meses de Março a Maio de 2011, como a coleta começou no final do mês de Março, ela ocorreu somente durante o outono, já a segunda coleta realizada foi entre o final de Novembro de 2011 e Fevereiro de 2012, ocorrendo entre o final da primavera e o verão, além disso, o mês de Fevereiro é o mais quente na Ilha, a temperatura pode chegar aos 30° C.

Após o teste de Tukey, observou-se que para o *G. grapsus* (Figura 19) foi encontrada diferença significativa somente nas concentrações de Fe e para *G. lagostoma* (Figura 20) nas concentrações de Zn. Tanto para o Fe em *G. grapsus* quanto para o Zn em *G. lagostoma* as concentrações encontradas no outono foram menores do que as concentrações encontradas durante a primavera/verão. Em *G. grapsus* a concentração média de Fe no outono foi de $31,3 \pm 23,0 \text{ mg kg}^{-1}$ e na primavera/verão de $49 \pm 19 \text{ mg kg}^{-1}$. Já para a espécie *G. lagostoma* a concentração média de Zn encontrada no outono foi de $229 \pm 22 \text{ mg kg}^{-1}$, enquanto que para primavera/verão concentração média encontrada foi de $247 \pm 29 \text{ mg kg}^{-1}$.

Figura 19: Concentração, em mg kg^{-1} , dos metais e semimetais por estação em *G. grapsus*.

Figura 20: Concentração, em mg kg^{-1} , dos metais e semimetais por estação em *G. lagostoma*.

Beltrame *et al.* (2010), durante seus estudos achou diferenças significativas entre as médias das concentrações nas diferentes estações do ano, em hepatopâncreas. As maiores concentrações foram achadas na primavera e no verão. Nesse estudo as maiores concentrações também foram encontradas na primavera/verão, que de acordo com Beltrame *et al.* (2010) essas são as estações nas quais a atividade biológica é maior, possível motivo para maiores concentrações encontradas.

Em relação as espécies de peixe foram realizados três testes de ANOVA. Para a espécie de peixe *M. niger*, amostrada nos dois períodos de coleta, foi realizada uma ANOVA para comparar se havia ou não diferença significativa ($p < 0,05$) entre as concentrações encontradas no outono e na primavera/verão para ambos os tecidos (muscular e hepático). Outros dois testes de ANOVA foram realizados para verificar se havia ou não diferença significativa ($p < 0,05$) entre as concentrações encontradas em músculo e fígado de cada uma das espécies (*M. niger* e *Harengula sp.*).

A Figura 21 apresenta a média das concentrações encontradas no outono e na primavera/verão para *M. niger* no tecido muscular e a Figura 22, apresenta a média das concentrações por estação, porém no tecido hepático. Após a realização da ANOVA e do teste de Tukey, observou-se que no músculo de *M. niger* havia diferença significativa ($p < 0,05$) em Al e As. A média da concentração de Al encontrada no outono ($24 \pm 10 \text{ mg kg}^{-1}$) foi maior do que a encontrada na primavera/verão ($11 \pm 7 \text{ mg kg}^{-1}$), enquanto que o As a média da concentração no outono ($25 \pm 5 \text{ mg kg}^{-1}$) foi menor do que a da primavera/verão ($30 \pm 6 \text{ mg kg}^{-1}$).

Figura 21: Concentração, em mg kg⁻¹, dos metais e semimetais por estação em músculo de *M. niger*.

Para o fígado de *M. niger*, com a realização da ANOVA e do teste de Tukey, observou-se que há diferença significativa ($p < 0,05$) para Fe e Zn entre as estações, tanto para Fe como para o Zn as concentrações médias encontradas o outono (Fe = 261 ± 125 mg kg⁻¹; Zn = 228 ± 87 mg kg⁻¹) foram maiores do que as concentrações médias encontradas na primavera/verão (Fe = 135 ± 85 mg kg⁻¹; Zn = 114 ± 47 mg kg⁻¹).

Figura 22: Concentração, em mg kg⁻¹, dos metais e semimetais por estação em fígado de *M. niger*.

Muitos estudos são realizados comparando as concentrações de metais e semimetais encontrados em organismos com as estações do ano, pois diversos estudos mostram que ao longo das estações as concentrações de metais e semimetais variam. Fallah *et al.* (2011), quantificou Al, Cd, Pb e Ni em três espécies comerciais no Mar Cáspio, na costa do Irã, durante o verão e o inverno, foram encontradas diferenças significativas entre as concentrações de Al, Cd e Pb quantificadas no inverno e no verão, sendo que no inverno as concentrações foram maiores.

Mendil *et al.* (2010) quantificou diversos elementos em quatro espécies de peixe no Mar Negro, na costa da Turquia durante as quatro estações do ano. Observou-se que as maiores concentrações encontradas em Fe, Pb, Cr, Mn, Cd, Cu, e cobalto (Co) foram no verão, somente a concentração de Zn foi maior no outono. Dural *et al* (2007), quantificou Zn, Fe, Cd, Cu e Pb em três

espécies na lagoa de Tuzla, localizada na Baía de Iskenderun, Turquia. As amostras foram coletadas nas quatro estações do ano e as maiores concentrações foram encontradas na primavera e no inverno.

As concentrações de Al em músculo e de Fe e Zn no fígado de *M. niger*, apresentaram diferença significativa, sendo que as concentrações foram maiores durante o outono, já o As sua concentração foi maior durante o final da primavera e o verão.

As variações das concentrações dos metais em peixes não dependem somente da estação do ano, mas podem ser relacionados à dieta, ciclos reprodutivos, à temperatura da água ou aos períodos de chuva, que carregam os poluentes para dentro do sistema aumentando a concentração dos metais (SAEI-DEHKORDI & FALLAH, 2011; DURAL *et al*, 2007).

A seguir serão apresentados os gráficos, Figura 23 e Figura 24, que mostram concentração dos elementos em relação ao tecido coletado de *M. niger* e *Harengula sp.*, respectivamente. Para ambas as espécies houve diferença significativa ($p < 0,05$) para as concentrações médias de Fe e Zn encontradas entre os tecidos muscular e hepático dos peixes analisados.

Nas duas espécies e para os dois elementos as concentrações médias foram maiores no fígado do que no músculo. Para *M. niger* as concentrações encontradas de Fe e Zn no músculo foi de $18 \pm 5 \text{ mg kg}^{-1}$ e de $20 \pm 4 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente, enquanto, no fígado, as concentrações encontradas foram de $194 \pm 122 \text{ mg kg}^{-1}$ para o Fe e de $173 \pm 88 \text{ mg kg}^{-1}$ para o Zn. Em *Harengula sp.* as concentrações de Fe no músculo foram de $39 \pm 11 \text{ mg kg}^{-1}$ e $656 \pm 144 \text{ mg kg}^{-1}$ no fígado. Enquanto que para o Zn a concentração no músculo foi de $27 \pm 6 \text{ mg kg}^{-1}$ e para o fígado foi de $91 \pm 13 \text{ mg kg}^{-1}$.

Figura 23: Concentração, em mg kg⁻¹, dos metais e semimetais por tecido em *M. niger*.

Figura 24: Concentração, mg kg⁻¹, dos metais e semimetais por tecido em *Harengula sp.*

Diversos estudos mostram que peixes podem possuir diferentes concentrações de metais e semimetais em seus tecidos (AL-YOSUF *et al*, 2000; DE SOUZA LIMA JUNIOR *et al*, 2002; CANLI & ATLI, 2003; FERNANDES *et al*, 2007). O fígado é o órgão mais recomendado como

indicador ambiental, devido a sua capacidade de acumular os poluentes que estão em níveis mais elevados no ambiente (AL-YOUSUF *et al.*, 2000). Enquanto, a capacidade para o acúmulo de metais e semimetais no músculo é menor, portanto, não é apontado como um bom indicador para a contaminação do peixe como um todo (FERNANDES *et al.*, 2007, JARIC *et al.*, 2011).

Al-Yousuf *et al.* (2000) analisou Zn, Cu, Mn e Cd em fígado, pele e músculo de uma espécie de peixe (*Lethrinus lentjan*) na costa oeste dos Emirados Árabes. Para todos os elementos analisados as maiores concentrações foram encontradas no tecido hepático, para Cd a menor concentração encontrada foi na pele, enquanto que para o Zn, Mn e Cu as menores concentrações foram encontradas no músculo.

Fernandes *et al.* (2007) fez um estudo semelhante, porém, analisou o fígado, o músculo e as brânquias de *Liza saliens* da lagoa costeira de Esmoriz-Paramos em Portugal. O estudo encontrou diferenças significativas entre as concentrações quantificadas nos diferentes tecidos, para Zn a maior concentração encontrada foi em brânquias, seguida do tecido hepático e por último em músculo, já para o Cu as maiores concentrações encontradas foram em fígado, seguido das brânquias e as menores concentrações nos músculos.

Fe, Zn, Pb, Ni, Cu e Cr foram quantificados em músculo, fígado e gônada de quatro diferentes espécies de peixes da Baía de Sepetiba e da Baía de Ilha Grande, as maiores concentrações de todos os elementos foram encontradas no tecido hepático indicando a incorporação desses elementos por meio da digestão (DE SOUZA LIMA JUNIOR *et al.*, 2002).

A Figura 25 apresenta as médias das concentrações dos elementos quantificados em músculo e fígado da ave *P. arminjoniana*. Por meio dos testes

de *Kruskal-Wallis* observaram-se diferenças significativas ($p < 0,05$) para o Cu ($p = 0,01$), Fe ($p = 0,04$) e Zn ($p = 0,01$).

Figura 25: Concentrações, mg kg⁻¹, quantificadas em músculo e fígado de *P. arminjoniana*. O número de amostras consideradas foi igual a 5 indivíduos.

Tsipoura *et al.* (2011) analisou As, Cd, Cr, e Pb em penas, fígado e músculo de gansos canadenses em New Jersey Meadowlands, igualmente a esse estudo todos os elementos tiveram maior concentração no fígado do que no músculo, com exceção do Cr em somente um ponto de coleta. As concentrações nas penas foram ainda maiores, pois as aves acumulam metais nesse tecido.

Mansouri *et al.* (2012) quantificou Cr, Cu, Co, Ni e Fe nas aves das espécies *Egretta gularis* e *Larus heuglini* que foram coletadas no sul do Irã. As análises foram realizadas no fígado, rim e no músculo do peitoral, os resultados mostraram que o fígado apresentou as maiores concentração nas duas espécies. Outro estudo realizado por Hoshyari *et al.* (2012) analisou Cd, Pb e Zn também em *L. heuglini* coletadas em uma reserva da biosfera, a região de

Hara, no sul do Irã. As maiores concentrações foram encontradas em rim, depois em fígado e as menores concentrações foram encontradas em músculo.

Músculo, rim, fígado, cérebro, gônada, coração e pena foram amostrados em *L. hyperboreus* em Bjornoya e Jan Mayen no Ártico para a quantificação de Cd, Cu, Fe, Mn e Zn, assim como em todos os outros estudos as concentrações encontradas no fígado de indivíduos adultos foram maiores do que as quantificadas no músculo, entretanto, as aves adultas encontradas mortas em Bjornoya, a concentração do Cu em músculo foi maior do que a do fígado (MALINGA et al., 2010).

As Figuras de 26 a 31 apresentam a correlação entre a concentração dos elementos versus a biomassa e o comprimento dos indivíduos.

A Figura 26 (A-G) apresenta os gráficos de correlação entre a concentração dos elementos e a biomassa, e a concentração e o comprimento da carapaça de *G. grapsus*. Os únicos elementos que apresentaram correlação significativa ($p < 0,05$) foram o Cu (Figura 26-C) e o Zn (Figura 26 – G), tanto para a biomassa quanto para o comprimento da carapaça. O Cu obteve uma correlação muito baixa tanto para a biomassa ($r = 0,35$), como para o comprimento ($r = 0,36$), já o Zn mostrou uma correlação maior tanto para o comprimento ($r = 0,71$), quanto para a biomassa ($r = 0,67$).

A Figura 27 (A-H) apresenta os gráficos de correlação da espécie *G. lagostoma*. O Mn (Figura 27–F) e o Zn (Figura 27-H) apresentaram correlação significativa ($p < 0,05$). Para Mn a correlação foi negativa e baixa para a biomassa em relação à concentração ($r = -0,34$), e também, para o comprimento ($r = -0,32$). Entretanto, para o Zn a correlação foi positiva para ambos, com a biomassa ($r = 0,40$) e com o comprimento ($r = 0,26$).

Figura 26: Correlação da biomassa com a concentração e correlação do comprimento da carapaça com a concentração de *G. grapsus*. Concentrações em mg kg⁻¹.

Figura 27: Correlação da biomassa com a concentração e correlação do comprimento da carapaça com a concentração de *G. lagostoma*. Concentrações em mg kg⁻¹.

Bjerregaard & Depledge (2002), analisaram Fe, Zn, Cu, Cd, Mn e Co em diversos tecidos de *Carcinus maenas* no sudoeste de Funem, Dinamarca. A correlação entre as concentrações de Zn e o tamanho da carapaça, assim como nesse estudo para as duas espécies, foi positiva. Enquanto, os demais elementos, Cu, Cd, Mn e Co, apresentaram correlações negativas. As correlações encontradas no presente estudo também foram negativas para o Mn na espécie *G. lagostoma*, no entanto, para o Cu em *G. grapsus* foi encontrada uma correlação baixa e positiva.

Chen *et al.* (2005) quantificou Fe, Zn, Cu, Mn, Se, Cd e Co nos músculos das quelas, no músculo do corpo e no hepatopâncreas do siri *Thalamita cremata*, na Baía de Dapeng, sudoeste de Taiwan. Somente achou correlações negativas entre o comprimento da carapaça e as concentrações de Mn e Co nos três tecidos, e para o tamanho e a concentração do Se em hepatopâncreas. Diferentemente de Bjerregaard & Depledge (2002) e do presente estudo não houve correlações para o comprimento e as concentrações de Zn e Cu, e também não houve correlações para os demais elementos analisados.

Para o tecido muscular de *M. niger* (Figura 28: A-G) a única correlação significativa ($p < 0,05$) foi da concentração de Mn em relação à biomassa (Figura 28-E), porém foi negativa e muito baixa ($r = -0,38$). Em relação ao tecido hepático dessa mesma espécie (Figura 29 (A-H)), houve correlação significativa ($p < 0,05$) da biomassa com a concentração de dois elementos: Al e Zn (Figura 29-A; 29-H, respectivamente). Com o Al a correlação foi positiva e baixa ($r = 0,47$) e com o Zn, também foi baixa, entretanto, negativa ($r = -0,31$).

Houve, também, correlação significativa entre a concentração de As e o comprimento, porém muito baixa ($r = 0,36$).

Para o tecido muscular de *Harengula sp.* (Figura 30 (A-G)) não houve nenhuma correlação entre as concentrações de metais e semimetais com a biomassa ou com o comprimento dos indivíduos. Entretanto, para o tecido hepático (Figura 31: A-I) dessa mesma espécie, somente houve a correlação entre o comprimento e a concentração de Mn. Porém, a correlação existente entre Mn e o comprimento foi baixa ($r = 0,42$).

Figura 28: Correlação da biomassa com a concentração e correlação do comprimento com a concentração em músculo de *M. niger*. Concentrações em mg kg⁻¹.

Figura 29: Correlação da biomassa com a concentração e correlação do comprimento com a concentração em fígado de *M. niger*. Concentrações em mg kg⁻¹.

Figura 30: Correlação da biomassa com a concentração e correlação do comprimento com a concentração em músculo de *Harengula sp.* Concentrações em mg kg^{-1} .

Figura 31: Correlação da biomassa com a concentração e correlação do comprimento com a concentração em fígado de *Harengula sp.* Concentrações em mg kg^{-1} .

Os peixes podem acumular muitos metais, além disso, estão suscetíveis a acumular substâncias tóxicas presentes na água (JARIC *et al.*, 2011). Devido a esses fatores diversos estudos são realizados para verificar se existe alguma relação entre a biomassa e/ou comprimento dos peixes e a concentração dos metais.

Al-Yousuf *et al.* (2000) encontrou correlações positivas entre as concentrações de Mn, Cu, Zn e Cd encontradas no fígado de uma espécie de peixe (*L. lentjan*) com o comprimento. Kojadinovic *et al.* (2007) também encontrou correlações positivas entre as concentrações de Cd e Se encontradas nos tecidos hepáticos, renal e muscular.

No entanto Canli & Atli (2003) e Anan *et al.* (2005) obtiveram resultados mais semelhantes com esse estudo. Canli & Atli (2003) encontraram correlações negativas significativas em diversas espécies de peixes tanto para a biomassa quanto que para o comprimento, também obtiveram resultados semelhantes a este estudo quanto a concentração de Zn no fígado da espécie *A. hepsetus*. Anan *et al.* (2005), encontrou correlações negativas para muitos elementos (Co, V, Zn, Se, Cu e Mo) em relação à biomassa, segundo ele a concentração do elemento em relação ao crescimento dos peixes, está associado a muitos fatores, como por exemplo a taxa de metabolismo.

5.3. Comparação com concentrações de metais e semimetais em organismos de outras regiões do mundo.

A Tabela 11 apresenta as comparações realizadas entre espécies de caranguejos e siris e as espécies coletadas na Ilha da Trindade.

As concentrações dos diversos elementos nas espécies de caranguejo, *G. grapsus* e *G. lagostoma*, obtiveram resultados semelhantes ou menores do que estudos em outras regiões. As concentrações de Mn mais altas encontradas (AL-MOHANNA & SUBRAHMANYAM, 2001), foram de 1,43 mg kg⁻¹, e segundo os autores estão de três a cinco vezes abaixo do limite permitido para organismos marinhos.

O Cu é um elemento essencial e normalmente é encontrado em concentrações maiores em regiões enriquecidas por esse elemento (AL-MOHANNA & SUBRAHMANYAM, 2001), entretanto as concentrações de Cu encontradas nesse estudo ficaram abaixo de concentrações encontradas em outras regiões. Turoczy *et al.*, 2001, encontrou fortes correlações entre o Cd e o hepatopâncreas e o Cu e o músculo das quelas, porém algumas correlações são difíceis de explicar, segundo aos autores, porque eles podem estar expostos a diversos metais que ocorrem juntos, mas que a sua distribuição no organismo é diferente.

O Zn também é um elemento essencial e o organismo é capaz de regular esse elemento. (AL-MOHANNA & SUBRAHMANYAM, 2001; TUROCZY *et al.*, 2001). As concentrações de Zn são semelhantes às outras encontradas nos demais estudos, porém estão abaixo das concentrações encontradas por Turoczy *et al.*, 2001. Segundo os autores, vários fatores influenciam na concentração de metais em *P. gigas*, como, por exemplo, idade, sexo, dieta recente, dieta mais antiga, tamanho e crescimento. Uma explicação para as altas concentrações de Zn seria devido ao tamanho e o tempo de vida serem maiores do que de outros caranguejos.

Tabela 11: Concentração, em mg kg⁻¹, de metais e semimetais em caranguejos e siris em diversas regiões do mundo.

Espécie	Al	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Zn
<i>G. grapsus</i>	32±14 ^a	18±9 ^a	<LQ	36±10 ^a	48±35 ^a	1,4±0,6 ^a	0,7±0,3 ^a	<LQ ^a	<LQ ^a	110±23 ^a
<i>G. lagostoma</i>	41±18 ^a	19,3±19,1 ^a	0,5±0,1 ^a	59±13 ^a	47±21 ^a	1,9±0,6 ^a	0,5±0,1 ^a	<LQ ^a	<LQ ^a	238±27 ^a
<i>L. polyphenus</i>		17±14 ^g	0,013±0,002 ^b ; 0,037±0,006 ^g			1,12±0,24 ^b ; 1,71±0,37 ^g		0,021±0,005 ^b ; 0,041±0,004 ^g	0,71±0,11 ^b ; 0,87±0,04 ^g	
<i>T. crenata</i>			0,045±0,016 ^{c1} ; 0,042±0,019 ^{c2}	11±2 ^{c1} ; 10,8±1,6 ^{c2}	5,2±1,7 ^{c1} ; 3,7±1,3 ^{c2}	6,1±2,5 ^{c1} ; 2,9±2,6 ^{c2}			0,68±0,11 ^{c1} ; 0,62±0,13 ^{c2}	47±5 ^{c1} ; 43±4 ^{c2} ;
<i>P. pelagicus</i>		0,43±0,07 ^{d1} ; 0,32±0,07 ^{d2} ; 0,20±0,02 ^{d3}	0,02±0,00 ^e	119±142 ^{d1} ; 142±7 ^{d2} ; 110±9 ^{d3} ; 2,6±0,2 ^e		2,01±0,09 ^{d1} ; 1,9±0,2 ^{d2} ; 0,72±0,10 ^{d3}		1,900,2 ^{d1} ; 1,7±0,1 ^{d2} ; 2,0±0,2 ^{d3} ; 0,03±0,00 ^e	0,25±0,02 ^{d1} ; 0,15±0,02 ^{d2} ; 0,13±0,01 ^{d3}	208±7 ^{d1} ; 221±6 ^{d2} ; 188±6 ^{d3} ; 2,3±0,2 ^e
<i>P. gigas</i>			0,2±0,3 ^{f1} ; 1,7±1,5 ^{f2}	60±20 ^{f1} ; 57±37 ^{f2}						650±120 ^{f1} ; 250±150 ^{f2}
<i>C. maenas</i> *				410±75 ^{h1} ; 478±10 ^{h2} ; 416±96 ^{h3}	523±73 ^{h1} ; 992±111 ^{h2} ; 573±48 ^{h3}	21±3 ^{h1} ; 26±4 ^{h2} ; 22±3 ^{h3}	4,6±1,2 ^{h1} ; 4,9±0,8 ^{h2} ; 7±2 ^{h3}	0,10±0,03 ^{h1} ; 0,33±0,06 ^{h2} ; 0,24±0,04 ^{h3}		106±11 ^{h1} ; 119±15 ^{h2} ; 107±9 ^{h3}

>LQ: Menor que o limite de quantificação; * Análise realizada no hepatopâncreas; ^aPresente estudo; ^bBurger, 1997; ^cChen *et al.*, 2005 ^{c1}fêmea, ^{c2}Macho; ^dAl-Mohanna & Subrahmanyam, 2001, ^{d1}ponto de coleta 1, ^{d2}ponto de coleta 2, ^{d3}ponto de coleta 3; ^eViswanathan *et al.*, 2013; ^fTuroczy *et al.*, 2001 ^{f1}músculo da quela, ^{f2}músculo das patas; ^gBurger *et al.*, 2002; ^hPereira *et al.*, 2009, ^{h1}Meio da lagoa, ^{h2}Braço Bom Sucesso; ^{h3}Braço Barbosa.

A Tabela 12 faz uma comparação entre o presente estudo e estudos realizados com peixes de diferentes regiões, a tabela apresenta as concentrações encontradas nos tecidos hepático e muscular.

A presença de vulcões, atividade tectônica e fumarolas podem introduzir alguns metais no ambiente (KOJADINOVIC *et al.*, 2007; COPAT *et al.* 2012) , apesar da Ilha de Trindade, ter se formado a partir de vários eventos vulcânicos, as concentrações dos metais encontrados foram semelhantes a alguns estudos realizados em diferentes regiões com outras espécies de peixes.

O único elemento que apresentou altas concentrações foi o As. As concentrações obtidas foram maiores do às encontradas no estudo de Jaric *et al.* (2011). No estudo realizado por Rocha (2009), no Estuário de Santos e no Canal de Bertioga concentrações de As entre 1,52mg kg⁻¹ a 29,64mg kg⁻¹ foram encontradas em músculo *A. lineatus*. Essas concentrações estiveram abaixo das encontradas no fígado e no músculo de *Harengula sp.*, entretanto em *M. niger*, as médias das concentrações ficaram entre os valores encontrados em *A. lineatus*.

Tabela 12: Concentrações, em mg kg⁻¹, de metais e semimetais em fígado e músculo de peixes em diversas regiões do mundo.

Espécie	T	Al	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Zn
<i>Harengula sp.</i>	F	24±14 ^a	66±14 ^a	3,6±0,7 ^a	8±1 ^a	656±144 ^a	3,7±0,9 ^a	0,5±0,1 ^a	<LQ ^a	28±4 ^a	91±13 ^a
	M	11±5 ^a	40±6 ^a	<LQ ^a	2,1±0,4 ^a	39±11 ^a	1,2±0,3 ^a	0,4±0,1 ^a	<LQ ^a	<LQ ^a	26±6 ^a
<i>M. niger</i>	F	12±3 ^a	12±4 ^a	7±4 ^a	4±2 ^a	194±122 ^a	5±2 ^a	0,5±0,1 ^a	<LQ ^a	<LQ ^a	19±4 ^a
	M	18±11 ^a	27±6 ^a	<LQ ^a	1,2±0,5 ^a	18±5 ^a	1,0±0,2 ^a	0,5±0,2 ^a	<LQ ^a	<LQ ^a	19±4 ^a
<i>C. hippurus</i>	F			32±15 ^{b1} , 18±26 ^{b2}	40±38 ^{b1} , 60±64 ^{b2}	341±110 ^{b1} , 211±91 ^{b2}	7,2±0,9 ^{b1} , 5,1±1,2 ^{b2}		0,21±0,10 ^{b1} , 0,01±0,03 ^{b2}	14±7 ^{b1} , 13±9 ^{b2}	146±3 ^{b1} , 135±29 ^{b2}
	M			0,12±0,06 ^{b1} , 0,13±0,16 ^{b2}	0,78±0,17 ^{b1} , 0,88±0,62 ^{b2}	12±2 ^{b1} , 23±190 ^{b2}	0,26±0,02 ^{b1} , 0,33±0,07 ^{b2}		0,14±0,05 ^{b1} , 0,06±0,16 ^{b2}	1,8±0,8 ^{b1} , 3,17±3,21 ^{b2}	45±12 ^{b1} , 65±38 ^{b2}
<i>E. encrasicolus</i>	M			0,36±0,09 ^{c2} , 0,33±0,11 ^{c3} , 0,34±0,15 ^{c4}					0,18±0,17 ^{c1} , 0,32±0,22 ^{c2}		
<i>S. pilchardus</i>	M			0,04±0,02 ^{c5}					0,08±0,09 ^{c1}		
<i>M. Barbatius</i>	M			0,08±0,07 ^{c5}							
<i>L. vaigiensis</i>	F			0,68±0,04 ^d				1,4±0,1 ^d	0,37±0,02 ^d		
	M			0,16±0,01 ^d				0,52±0,06 ^d	0,11±0,01 ^d		
<i>J. Carutta</i>	F			0,59±0,04 ^d				1,12±0,05 ^d	0,30±0,01 ^d		
	M			0,16±0,01 ^d				0,29±0,03 ^d	0,03±0,00 ^d		
<i>L. lentjan</i>	F			0,66±0,28 ^e	4,8±1,7 ^e		1,2±0,2 ^e				
	M			0,11±0,02 ^e	0,17±0,06 ^e		0,11±0,02 ^e				
<i>X. gladius</i>	F			163±178 ^{b1} , 169±156 ^{b2}	54±31 ^{b1} , 65±102 ^{b2}	617±278 ^{b1} , 558±197 ^{b2}	3,7±0,7 ^{b1} , 3,5±0,7 ^{b2}		0,18±0,19 ^{b1} , 0,09±0,08 ^{b2}	53±0,8 ^{b1} , 77±54 ^{b2}	213±73 ^{b1} , 239±45 ^{b2}
	M			1,04±1,09 ^{b1} , 0,60±0,45 ^{b2}	0,64±0,32 ^{b1} , 0,65±0,46 ^{b2}	22±19 ^{b1} , 19±7 ^{b2}	0,24±0,23 ^{b1} , 0,18±0,05 ^{b2}		0,12±0,12 ^{b1} , 0,01±0,04 ^{b2}	2,4±1,2 ^{b1} , 4,0±1,8 ^{b2}	41±34 ^{b1} , 73±50 ^{b2}
<i>T. albacares</i>	F			138±60 ^{b1} , 126±130 ^{b2}	121±74 ^{b1} , 240±620 ^{b2}	734±290 ^{b1} , 690±571 ^{b2}	5,1±0,9 ^{b1} , 5,0±1,3 ^{b2}		0,13±0,12 ^{b1} , 0,05±0,08 ^{b2}	91±14 ^{b1} , 83±42 ^{b2}	439±254 ^{b1} , 516±680 ^{b2}
	M			0,25±0,21 ^{b1} , 0,23±0,20 ^{b2}	0,97±0,23 ^{b1} , 1,9±1,4 ^{b2}	39±16 ^{b1} , 50±34 ^{b2}	0,27±0,11 ^{b1} , 0,30±0,12 ^{b2}		0,09±0,14 ^{b1} , 0,02±0,07 ^{b2}	5,0±1,8 ^{b1} , 6±4 ^{b2}	64±47 ^{b1} , 160±135 ^{b2}
<i>K. pelamis</i>	F			153±95 ^{b2}	93±75 ^{b2}	1296±897 ^{b2}	4,8±1,2 ^{b2}		0,12±0,14 ^{b2}	73±25 ^{b2}	208±61 ^{b2}
	M			0,61±0,37 ^{b2}	1,0±0,9 ^{b2}	70±34 ^{b2}	0,36±0,16 ^{b2}		0,07±0,08 ^{b2}	15±12 ^{b2}	125±94 ^{b2}
<i>A. ruthenus</i>	F	6,2±6,7 ^f	0,52±0,82 ^f	2,8±3,4 ^f	104±58 ^f	380±255 ^f		0,03±0,08 ^f		4,5±1,9 ^f	124±46 ^f
	M	33±31 ^f	0,27±0,58 ^f	0,08±0,11 ^f	1,0±0,4 ^f	12±22 ^f				2±1 ^f	25,17±5,63 ^f
<i>R. frisii kutum</i>	M	1,2±0,1 ^g		0,17±0,04 ^g				0,52±0,09 ^g	0,38±0,04 ^g		
<i>L. aurata</i>	M	0,9±0,1 ^g		0,03±0,00 ^g				0,12±0,02 ^g	0,21±0,02 ^g		
<i>C. carpio</i>	M	2,4±0,3 ^g		0,09±0,02 ^g				0,44±0,05 ^g	0,38±0,04 ^g		

T: Tecido; F: Fígado; M: Músculo; ^aPresente estudo; ^bKojadinovic *et al.*, 2007 - ^{b1}Canal de Moçambique, ^{b2}- Ilha Reunion; ^cCopat *et al.*, 2012 – ^{c1}Catania, ^{c2}Siracusa, ^{c3}Mazzara del Valo, ^{c4}San Vito lo Capo, ^{c5}Pantelleria; ^dNorouzi *et al.*, 2012; ^eAl-Yousuf *et al.*, 2000; ^fJaric *et al.*, 2011; ^gFallah *et al.*, 2011.

As concentrações encontradas em diferentes aves e tecidos (pena, fígado e músculo) foram comparadas com as aves capturadas na Ilha da Trindade (*P. arminjoniana*, *O. fuscatus*, *A. stolidus*) (Tabela 13).

Assim como nos caranguejos e nos peixes, as concentrações encontradas de As nas aves (músculo e fígado) da Ilha da Trindade no presente estudo foram altas, maiores que as concentrações encontradas em penas de diversas espécies no estudo de Burger & Gochfeld (2009). A média de Cu encontrada no tecido hepático de *P. arminjoniana* foi alta ($51,1 \pm 83,2$), porque a concentração de um dos indivíduos analisados foi de $199,15 \text{ mg kg}^{-1}$, porém as dos demais indivíduos foram mais baixas. Os outros elementos quantificados apresentaram concentrações parecidas com as concentrações encontradas em outras espécies de aves analisadas nas demais regiões.

Os resultados obtidos por Barbieri *et al.* (2010), com aves em Florianópolis, para Cd e Cu estão abaixo das concentrações encontradas em Trindade, porém as concentrações de Ni e Pb são maiores, entretanto, é preciso lembrar que as concentrações encontradas por Barbieri *et al.*, (2010), foram em penas.

As concentrações de Cd, Cu, Mn e Se quando comparadas com as concentrações de amostras de fígado e músculo em *L. hyperboreus* estudadas por Malinga *et al.*, 2010, coletadas em duas regiões do ártico estão abaixo ou com valores bem semelhantes. As regiões no ártico estudadas pelos autores, assim como a Ilha da Trindade, são lugares remotos, mas as rotas dos metais e semimetais a partir das áreas industrializadas da Europa até o Ártico é conhecido, porém ainda é insuficiente, descobrir a se a origem é antrópica ou natural, devido ao complexo transporte atmosférico e oceânico de poluentes.

Tabela 13: Concentrações, em mg kg⁻¹, de metais e semimetais em diferentes tecidos de aves em diversas regiões do mundo

Espécie	T	Al	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Zn
<i>P. arminjoniana</i>	M	21±29 ^a	15±11 ^a		3,2±2,7 ^a	238±282 ^a				4,1±2,5 ^a	40±16 ^a
	F	5,9±1,3 ^a	17±12 ^a	1,6±0,5 ^a	51±83 ^a	1477±1649 ^a	4,0±2,7 ^a			16±9 ^a	137±61 ^a
<i>O. fuscatus</i> *	M	11,6 ^a		1,4 ^a	5,1 ^a	193,6 ^a	1,3 ^a	0,6 ^a	0,3 ^a	5,1 ^a	23,1 ^a
	F	5,28 ^a	3,55 ^a	24,7 ^a	10,6 ^a	780,6 ^a	8,51 ^a			21,7 ^a	111,8 ^a
<i>A. stolidus</i> *	M	44,9 ^a	24,7 ^a	0,1 ^a	33,5 ^a	707,1 ^a	1,7 ^a	1,4 ^a	1,61 ^a	58,3 ^a	183 ^a
	F	7,1 ^a	32,6 ^a	1,02 ^a	12,1 ^a	2034 ^a	7,4 ^a			32,9 ^a	147,6 ^a
<i>S. mollissima</i>	PP		0,138±0,018 ^b	0,08±0,04 ^b			1,9±0,3 ^b		1,0±0,9 ^b	0,87±0,088 ^b	
<i>F. cirrhata</i>	PP		0,136±0,025 ^b	0,08±0,01 ^b			0,62±0,06 ^b		1,2±0,3 ^b	6,6±0,3 ^b	
<i>C. columba</i>	PP		0,157±0,025 ^b	0,03±0,006 ^b			1,0±0,1 ^b		1,3±0,2 ^b	3,35±0,26 ^b	
<i>L. glaucescens</i>	PP		0,144±0,026 ^b	0,07±0,01 ^b			1,4±0,2 ^b		0,85±0,13 ^b	0,99±0,05 ^b	
<i>H. leucocephalus</i>	PA		0,547±0,075 ^b	0,25±0,04 ^b			34±5 ^b		4,5±0,8 ^b	2,55±0,27 ^b	
<i>L. hyperboreus</i>	M			0,52±0,31 ^{c1} , 0,41±0,25 ^{c2} , 0,64±0,54 ^{c3} , 0,26±0,03 ^d	16,6±1,8 ^{c1} , 15,3±1,4 ^{c2} , 18,3±4,0 ^{c3} , 16,0±2,4 ^d	192±26 ^{c1} , 191±31 ^{c2} , 281±99 ^{c3} , 168±59 ^d	1,7±0,4 ^{c1} , 1,6±0,4 ^{c2} , 1,2±0,5 ^{c3} , 2,1±0,9 ^d			62±2 ^{c1} , 68±18 ^{c2} , 75±29 ^{c3} , 68±11 ^d	
	F			5,46±3,50 ^{c1} , 6,23±5,39 ^{c2} , 5,71±3,93 ^{c3} , 6,40±2,64 ^d	20,3±4,4 ^{c1} , 18,5±2,6 ^{c2} , 16,9±6,0 ^{c3} , 16,3±3,8 ^d	775±306 ^{c1} , 742±252 ^{c2} , 1137±458 ^{c3} , 1120±524 ^d	12±3 ^{c1} , 11±2 ^{c2} , 9,8±4,6 ^{c3} , 20,3±27,3 ^d			93±4 ^{c1} , 87±18 ^{c2} , 113±44 ^{c3} , 79±14 ^d	
<i>L. heuglini</i>	M			0,8±0,1 ^e	6,14±0,21 ^f	38±1 ^f			3,4±0,6 ^f		34±23 ^e
	F			1,1±0,2 ^e	12,63±0,76 ^f	44±3 ^f		2,27±0,25 ^f	5,1±0,8 ^e		68±27 ^e
<i>E. gularis</i>	M				4,1±0,27 ^f	26,6±0,8 ^f		0,57±0,05 ^f			
	F				8,9±0,4 ^f	34,0±0,8 ^f		1,10±0,05 ^f			
<i>L. dominicanus</i>	P			0,02±0,007 ^{g1} , 0,03±0,007 ^{g2} , 0,07±0,02 ^{g3}	13,7±3,3 ^{g1} , 9,67±4,4 ^{g2} , 13,3±3,1 ^{g3}		1,18±0,45 ^{g1} , 1,92±1,45 ^{g2} , 11,3±9,0 ^{g3}	2,23±0,41 ^{g1} , 3,13±0,33 ^{g2} , 5,92±1,77 ^{g3}	1,47±0,38 ^{g1} , 3,71±2,02 ^{g2} , 7,53±1,66 ^{g3}		60,8±6,9 ^{g1} , 66,5±8,1 ^{g2} , 68,9±9,4 ^{g3}

T: Tecido; M: Músculo; F: Fígado; PP: Pena do Peitoral; PA: Pena da Asa; P: Pena; *Concentração de um único indivíduo, ^aPresente estudo; ^bBurger & Gochfeld, 2009; ^cMalinga *et al.*, 2010 - Bjornoya ^{c1}fêmeas abatidas, ^{c2}machos abatidos, ^{c3}indivíduos encontrados mortos; ^dMalinga *et al.*, 2010 - Jan Mayen; ^eHoshyari *et al.*, 2012; ^fMansouri *et al.*, 2012; ^gBarbieri *et al.*, 2010 – ^{g1}juvenil, ^{g2}sub-adulto, ^{g3}adulto

5.4. Mercúrio (Hg)

Foi realizada a análise de Hg para fazer um levantamento sobre a concentração desse importante metal nos peixes e caranguejos amostrados na Ilha da Trindade. Para isso foram analisados cinco amostras de músculo de cada uma das espécies de peixe (*Harengula sp.*, *M. niger*) e de caranguejo (*G. grapsus* e *G. lagostoma*). A Tabela 14 apresenta as concentrações de Hg encontrada no músculo das quatro espécies analisadas.

Tabela 14: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, de Hg em músculo de *Harengula sp.*, *M. niger*, *G. grapsus* e *G. lagostoma*.

	Hg
<i>Harengula sp.</i>	<LQ
<i>M. niger</i>	<LQ
<i>G. grapsus</i>	<LQ
<i>G. lagostoma</i>	<LQ

<LQM: Abaixo do limite de quantificação do método.

O LQM do Hg considerado foi igual a $17,7 \mu\text{g kg}^{-1}$, todas as 20 amostras analisadas, tanto de caranguejo quanto de peixe se encontraram abaixo desse valor.

6. CONCLUSÕES

Esse trabalho teve como objetivo principal determinar as concentrações de Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Zn e Hg em aves, peixes e caranguejos coletados na Ilha de Trindade, Brasil. Por meio dos resultados obtidos, é possível concluir que o objetivo proposto foi alcançado.

Analisando os resultados obtidos para as digestões dos materiais de referência certificados, é possível inferir que o método para a determinação dos elementos Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se e Zn em material biológico por meio de digestão ácida e quantificação por ICP-OES, foi estabelecido e validado de modo eficiente, o mesmo, pode-se dizer do método para a determinação de Hg em material biológico por meio da técnica de VGA acoplado ao ICP-OES.

Durante o estudo foram quantificados os metais e semimetais propostos no músculo das duas espécies de caranguejo (*Grapsus grapsus* e *Gecarcinus lagostoma*), em fígado e músculo das duas espécies de peixe (*Melichthys niger* e *Harengula sp.*) e em fígado e músculo das três espécies de aves (*Pterodroma arminjoniana*, *Onychopryon fuscatus* e *Anous stolidus*). Além do Hg em músculo de caranguejo (*G. grapsus* e *G. lagostoma*) e peixes (*M. niger* e *Harengula sp.*). Com os resultados obtidos dessas quantificações foi possível verificar algumas relações entre as concentrações e os parâmetros biológicos e a concentração e as coletas realizadas, além disso, também foi verificada a correlação entre a concentração e a biomassa ou comprimento dos indivíduos. Para as duas espécies de caranguejo, apesar da maioria dos estudos não mostrar diferenças entre machos e fêmeas, nesse estudo o Zn apresentou uma diferença significativa. Já entre as coletas realizadas, para alguns elementos houve uma

diferença significativa, as concentrações foram maiores no verão, provavelmente devido a uma maior atividade biológica.

No caso dos peixes, para a espécie *M. niger*, houve uma diferença significativa entre as coletas realizadas, as concentrações de metais em peixes, não estão ligadas apenas as estações do ano, mas sim a diversos fatores, como a dieta, ciclo reprodutivo e até mesmo períodos de chuva como encontrados em trabalhos anteriormente citados.

Houve diferenças significativas nas concentrações encontradas em fígado e músculo tanto para os peixes como para as aves. Assim, como era esperado, igualmente a maioria dos estudos, as maiores concentrações foram encontradas no tecido hepático, órgão capaz de acumular poluentes. Não existe um consenso sobre a concentração de metais e semimetais e o tamanho do indivíduo, as correlações significativas desse estudo entre os elementos analisados e a biomassa ou comprimento foram muito baixas.

A quantificação do Hg também foi realizada, em relação a esse elemento os resultados obtidos foram abaixo do limite de quantificação do método que é igual a $17,7 \mu\text{g kg}^{-1}$. A quantificação dos demais elementos comparados a outros estudos em diferentes regiões do mundo mostraram que os organismos da Ilha da Trindade apresentaram concentrações semelhantes às demais regiões. Não houve concentrações que fossem muito superiores às concentrações já encontradas em outras espécies indicando que a região não se encontra impactada por atividades antrópicas e pode ser considerada uma referência.

Finalizando, os valores obtidos nesse trabalho são parte importante para um banco de dados a fim de que, qualquer alteração nesses valores, poderão ser atribuídos a uma causa específica.

7. Referência Bibliográfica

- ABDALLAH, M. A. M. 2008. Trace elements levels in some commercially valuable fish species from coastal waters of Mediterranean Sea, Egypt. J. Mar. Syst., v. 73, p. 114-122.
- AGUIAR, M. R. M. P.; NOVAES, A. C.; GUARINO, A. W. S. 2002. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. Química Nova, v. 25, n. 6B, p. 1145-1154.
- AL-MOHANNA, S. Y.; SUBRAHMANYAM, M. N. V. 2001. Flux of heavy metal accumulation in various organs of the intertidal marine blue crab, *Portunus pelagicus* (L.) from the Kuwait coast after the Gulf War. Environ. Int., v. 27, p. 321-326.
- AL-YOUSUF, M. H.; EL-SHAHAWI, M. S.; AL-GHAIS, S. M. 2000. Trace metals in liver, skin and muscle of *Lethrinus lentjan* fish species in relation to body length and sex. Sci. Total. Environ., v. 256, p. 87-94.
- ALVES, R. J. V. 1998. Ilha de Trindade e Arquipélago Martim Vaz – Um ensaio geobotânico. Rio de Janeiro: Serviço de Documentação da Marinha. 144p.
- ANAN, Y.; KUNITO, T.; TANABE, S.; MITROFANOV, I.; AUBREY, D. G. 2005. Trace element accumulation in fishes collected from coastal Waters of Caspian Sea. Mar. Pollut. Bull., v. 51, p. 882 – 888.
- ATSDR (Agency for Toxic Substance and Disease Registry). 1999. Toxicological Profile for Mercury, Atlanta, Georgia. U.S. Department of health and human resources.
- ATSDR (Agency for Toxic Substance and Disease Registry). 2003. Toxicological Profile for Selenium, Atlanta, Georgia. U.S. Department of health and human resources.
- ATSDR (Agency for Toxic Substance and Disease Registry). 2005. Toxicological Profile for Zinc, Atlanta, Georgia. U.S. Department of health and human resources.

- ATSDR (Agency for Toxic Substance and Disease Registry). 2007a. Toxicological Profile for Arsenic, Atlanta, Georgia. U.S. Department of health and human resources.
- ATSDR (Agency for Toxic Substance and Disease Registry). 2007b. Toxicological Profile for Lead, Atlanta, Georgia. U.S. Department of health and human resources.
- ATSDR (Agency for Toxic Substance and Disease Registry). 2008. Toxicological Profile for Aluminum, Atlanta, Georgia. U.S. Department of health and human resources.
- ATSDR (Agency for Toxic Substance and Disease Registry). 2012a. Toxicological Profile for Cadmium, Atlanta, Georgia. U.S. Department of health and human resources.
- ATSDR (Agency for Toxic Substance and Disease Registry). 2012b. Toxicological Profile for Manganese, Atlanta, Georgia. U.S. Department of health and human resources.
- AYAS, D.; OZOGUL, Y. 2011. The effects of sex and seasonality on the metal levels of different muscle tissues of mature Atlantic blue crabs (*Callinectes sapidus*) in Mersin Bay, north-eastern mediterranean. Int. J. Food. Sci. Technol., v. 46, p. 2030-2034.
- BARBIERI, E.; PASSOS, E. A.; FILLIPINI, A.; SANTOS, I. S.; GARCIA, C. A. B. 2010. Assessment of trace metal concentration in feathers of seabird (*Larus dominicanus*) sampled in the Florianópolis, SC, Brazilian coast. Environ. Monit. Assess., v. 169, p. 631-638.
- BARRA, C. M.; SANTELLI, R. E.; ABRÃO, J. J.; LA GUARDIA, M. 2000. Especificação de arsênio – uma revisão. Química Nova. v. 23, p. 58-70.
- BELTRAME, M.O.; MARCO, S. G. De; MARCOVECCHIO, J.E. 2010. Influences of sex, habitat, and seasonality on heavy-metal concentrations in the burrowing crab (*Neohelice granulata*) from a coastal lagoon in Argentina. Arch. Environ. Contam. Toxicol., v. 58, p. 746-756.

- BJERREGAARD, P.; DEPLEDGE, M. H. 2002. Trace metal concentrations and contents in the tissues of the shore crab *Carcinus maenas* : effects of size and tissue hydration. *Mar. Biol.*, v 141, p. 741-752.
- BUBB, J. M.; LESTER, J. N. 1996. Factors controlling the accumulation of metals within fluvial systems. *Environ. Monit. Assess.*, v. 41, p. 87-105.
- BURGER, J. 1997. Heavy metals in the eggs and muscle of horseshoe crabs (*Limulus polyphemus*) from delaware bay. *Environ. Monit. Assess.*, v.49, p. 279-287.
- BURGER, J.; DIXON, C.; SHUKLA, T.; TSIPOURA, N.; GOCHFELD, M. 2002. Metal levels in horseshoe crabs (*Limulus polyphemus*) from Maine to Florida. *Environ. Res.*, v. 90, p. 227-236.
- BURGER, J.; GOCHFELD, M. 2009. Comparison of arsenic, cadmium, chromium, lead, manganese, mercury and selenium in feathers in bald eagle (*Haliaeetus leucocephalus*), and comparison with common eider (*Somateria mollissima*), glaucous-winged gull (*Larus glaucescens*), pigeon guillemot (*Cepphus columba*), and tufted puffin (*Fratercula cirrhata*) from the Aleutian Chain of Alaska. *Environ. Monit. Assess.*, v.152, p. 357-367.
- CANLI, M.; ATLI, G. 2003. The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environ. Pollut.*, v. 121, p. 129-136.
- CASTRO, J. W. A. 2010. Ilhas Oceânicas da Trindade e Fernando de Noronha, Brasil: Uma visão da geologia ambiental. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 10, p. 303-319.
- CASTRO, J. W. A.; ANTONELLO, L. L. 2006. Geologia das Ilhas Oceânicas. In: Alves, R. J. V. & Castro, J.W.A (ed.) *Ilhas Oceânicas Brasileiras: Da Pesquisa ao Manejo*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. p. 27-57.
- CHASIN, A. da M.; CARDOSO, L. M. N. 2003. Cádmio. In: AZEVEDO, F. A. de; CHASIN, A. da M. (ed.) *Metais: gerenciamento da toxicidade*. São Paulo: Editora Atheneu. p. 263-298.

- CHEN, M. -H.; CHEN, C. -Y.; CHOU, H. -Y.; WEN, Y. -C. 2005. Gender and size effects of metal bioaccumulation on the rock crab, *Thalamita crenata*, in Dapeng Bay, southwestern Taiwan. *Mar. Pollut. Bull.*, v 50, p. 463-469.
- CLEMENTE, E.P; SCHAEFER,C.E.G.R., OLIVEIRA, F.S; ALBUQUERQUE FILHO, M.R; ALVES, R.V; SÁ, M.M.F; MELO, V.F.; CORRÊA, G.R. 2009. Topossequência de solos na Ilha da Trindade, Atlântico Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 33, p. 1357-1371.
- COMANDO DO 1º DISTRITO NAVAL. 2006. Posto oceanográfico Ilha da Trindade. Disponível em: <https://www.com1dn.mar.mil.br/index.php?page=poit>. Acesso em: 20/03/2012.
- CONSTITUIÇÃO DA REPUBLICA FEDERATIVA DO BRASIL DE 1988. Artigo 20, inciso IV. Bens da União. Disponível em: http://www.senado.gov.br/legislacao/const/con1988/CON1988_21.12.2011/art_20_.shtm . Acesso em: 14/03/2012.
- COPAT, C.; BELLA, F.; CASTAING, M.; FALLICO, R.; SCIACCA, S.; FERRANTE, M. 2012. Heavy metals concentrations in fish from Sicilia (Mediterranean Sea) and evaluation of possible health risks to consumers. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, v. 88, p. 78-83.
- DE SOUZA LIMA JUNIOR, R.G.; ARAÚJO, F. G.; MAIA, M. F.; BRAZ PINTO, A. S. da S. 2007. Evaluattion of heavy metals in fish of the Sepetiba and Ilha Grande Bays, Rio de Janeiro, Brazil. *Environ. Res.*, v. 89, p. 171-179.
- DURAL, M.; GÖKSU, M. Z. L.; ÖZAK, A. A. 2007. Investigation of heavy metal levels in economically important fish species captured from the Tuzla lagoon. *Food Chemistry*, v. 102, p. 415-421.
- EISLER, R. 1988. Lead hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. Contaminant Hazard Reviews Report No. 14. Patuxent Wildlife Research Center. 94p.
- EISLER, R. 1993. Zinc hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. Contaminant Hazard Reviews Report No. 26. Patuxent Wildlife Research Center. 126p.,

- EISLER, R. 1998. Nickel hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. Contaminant Hazard Reviews Report No. 34. Patuxent Wildlife Research Center. 95p.
- FALLAH, A. A.; ZEYNALI F., SAEI-DEHKORDI, S. S.; RAHNAMA, M.; JAFARI, T. 2011. Seasonal bioaccumulation of toxic trace elements in economically important fish Species from the Caspian Sea using GFAAS. Journal of Consumer Protection and Food Safety, v. 6, p. 367-374.
- FERNANDES, C.; FONTAÍNHAS-FERNANDES, A.; PEIXOTO, F.; SALGADO, M. A. 2007. Bioaccumulation of heavy metals in *Liza saliens* from the Esmoriz-Paramos coastal lagoon, Portugal. Ecotoxicol. Environ. Saf., v. 66, p. 426-431.
- FERREIRA, M. S.; MÁRSICO, E. T.; JUNIOR, A. N. M.; MANO, S. B.; SÃO CLEMENTE, S. C. de; JUNIOR, C. A. C. 2012. Mercúrio total em pescado marinho do Brasil. Revista Brasileira de Ciência Veterinária, v. 19, n. 1, p. 50-58.
- FRANCESCONI, K. A. 2010. Arsenic species in seafood: Origin and human health implications. Pure and Applied Chemistry. v. 82, p. 373-381.
- FRANKHAM, R. 1997. Do island population have less genetic variation than mainland populations?. Heredity, v. 78, p. 311-327.
- FONSECA NETO, F. P.; 2004. Aves marinhas da Ilha Trindade. In: BRANCO, J. O . Aves marinhas e insulares brasileiras: Bioecologia e bioconservação. Itajaí, Santa Catarina: Ed. Univali. p. 119-148.
- GASPARINI, J. L.; FLOETER, S. R. 2001. The shore fishes of Trindade Island, western South Atlantic. J. Nat. Hist., v. 35, p. 1639-1656.
- GUSMÃO, L. G. S. de. 2005. Nossas Ilhas Oceânicas (adaptado Gasparini, J. Ilha Trindade e Arquipélago Martim Vaz), In: *Coleção Explorando a Geografia*. v. 8. Brasília: Ministério da Educação. p. 64-74.

- HOSHYARI, E.; POURKHABBAZ, A.; MANSOURI, B. 2012. Contaminations of metal in tissues of Siberian Gull *Larus heuglini*: gender, age, and tissue differences. Bull. Environ. Contam. Toxicol., v. 89, p. 102-106.
- HOU, X, JONES, B.T. 2008. Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry. In: Meyers, R.A. Encyclopedia of Analytical Chemistry, Ed. John Wiley & Sons. 21p. DOI: 10.1002/9780470027318.a5110.pub.
- INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial). 2007. Orientação sobre validação de métodos de ensaios químicos. 25p.
- JARIC, I., VISNJIC-JEFTIC, Z., CVIJANOVIC, G., GACIC, Z., JOVANOVIC, L., SKORIC, S., & LENHARDT, M. 2011. Determination of differential heavy metal and trace element accumulation in liver, gills, intestine and muscle of sterlet (*Acipenser ruthenus*) from the Danube River in Serbia by ICP-OES. Microchemical Journal. v. 98, p. 77-81.
- JÄRUP, L.; AKESSON, A. 2009. Current status of cadmium as an environmental health problem. Toxicology and Applied Pharmacology, v. 238, p. 201-208.
- KALMAN, J.; RIBA, I.; DELVALLS, T. A.; BLASCO, J. 2010. Comparative toxicity of cadmium in the commercial fish species *Sparus aurata* and *Solea senegalensis*. Ecotoxicol. Environ. Saf., v. 73, p. 306 -311.
- KOJADINOVIC, J.; POTIER, M.; LE CORRE, M.; COSSON, R. P.; BUSTAMANTE, P. 2007. Bioaccumulation of trace elements in pelagic fish from the Western Indian Ocean. Environ. Pollut., v 146, p. 548-566.
- KUNIYOSHI, L. S. 2011a. Bioacumulação de elementos traços e expressão de micronúcleos em *Cathorops spixii* (biomonitor) como ferramentas de avaliação da influência antrópica em dois setores do complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape, São Paulo, Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 142p.
- KUNIYOSHI, L. S.; BRAGA, E. S.; FÁVARO, D. I. T. 2011b. Uso do Arsênio na avaliação da qualidade do pescado: Necessidade de adequação da

legislação ambiental. In: V Simpósio Brasileiro de Oceanografia, Santos, São Paulo.

LAMOSO, L. P. 2001. A exploração de minério de ferro no Brasil e no Mato Grosso do Sul. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, 309p.

LEITÃO, N.; CARVALHO, L. 2005. A noção estratégica das Ilhas Selvagens. GeolNova, v. 1, f.11, p. 267-283.

LIMA, I. V. de. 2003. Ferro. In: AZEVEDO, F. A. de; CHASIN, A. da M. (ed.) Metais: gerenciamento da toxicidade. São Paulo: Editora Atheneu, p. 99-126.

MALINGA, M.; SZEFER, P.; GABRIELSEN, G. W. 2010. Age, sex and spatial dependent variations in heavy metals levels in the Glaucous Gulls (*Larus hyperboreus*) from the Bjørnøya and Jan Mayen, Arctic. Environ. Monit. Assess., v. 169, p. 407-416.

MANSOURI, B.; EBRAHIMPOUR, M.; BABAEI H. 2011. Bioaccumulation and elimination of nickel in the organs of black fish (*Capoeta fusca*). Toxicol. Ind. Health v. 28, p. 361-368.

MANSOURI, B.; BABAEI, H.; HOSYYARI, E.; KHODAPARAST, S. H.; MIRZAJANI, A. 2012. Assessment of trace-metal concentrations in Western Reef Heron (*Egretta gularis*) and Siberian Gull (*Larus heuglini*) from Southern Iran. Arch. Environ. Contam. Toxicol., v. 63, p. 280-287.

MARLIERE, E. R. 2006. Ilhas Oceânicas: Sentinelas avançadas do Brasil. In: Alves, R. J. V. & Castro, J.W.A (ed.) Ilhas Oceânicas Brasileiras: Da Pesquisa ao Manejo. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. p. 15-25.

MARTINS, I. 2003. Manganês In: AZEVEDO, F. A. de; CHASIN, A. da M. (ed.) Metais: gerenciamento da toxicidade. São Paulo: Editora Atheneu, p. 67-97.

MARTINS, L. S. G.; ALVES, R. J. V. 2007. Regeneração Natural do Morro Vermelho, Ilha da Trindade. Revista Brasileira de Biociências, v. 4, supl. 01, p. 39-41.

- MENDIL, D.; DEMIRCI, Z.; TUZEN, M.; SOYLAK, M. 2010. Seasonal investigation of trace element contents in commercially valuable fish species from the Black sea, Turkey. *Food and Chemical Toxicology*, v. 48, p. 865-870.
- MILLER, L. L.; RASMUSSEN, J. B.; PALACE, V. P.; STERLING, G.; HONTELA, A. 2013. Selenium bioaccumulation in stocked fish as an indicator of fishery potential in Pit Lakes on reclaimed coal mines in Alberta, Canada. *Environ. Manage.*, v. 52, p.72-84.
- MOREIRA, E. G. 2010. Preparo e caracterização de um material de referência de mexilhão *Perna perna* (Linnaeus, 1758). Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. 283p.
- MOREIRA, F.R.; MOREIRA, J. C. 2004. A importância da análise de especiação do chumbo em plasma para a avaliação dos riscos à saúde. *Química Nova*, v. 27, n. 2, p. 251-260.
- MULLINS, E. 1994. Introduction to control charts in the analytical laboratory. *Analyst*, v. 119, p. 369-375.
- MURPHY, R. C. 1915. The bird life of Trinidad Islet. *Auk*, 32, p. 332-348.
- NOROUZI, M., MANSOURI, B., HAMIDIAN, A. H., ZAREI, I., MANSOURI, A. 2012. Metal concentrations in tissues of two fish species from Qeshm Island, Iran. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, v. 89, p. 1004-1008.
- NORUM, U.; BONDGAARD, M.; BJERREGAARD, P. 2003. Copper and zinc handling during the moult cycle of male and female shore crabs *Carcinus maenas*. *Mar. Biol.*, v. 142, p. 757-769.
- OLIVEIRA, L. P. H. 1951. Nota prévia sobre a fauna e flora marinha bentônica da Ilha de Trindade. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, v.49, p.443-456.
- PALANIAPPAN, P.L.R.M.; KARTHIKEYAN, S. 2009. Bioaccumulation and depuration of chromium in the selected organs and whole body tissues of

freshwater fish *Cirrhinus mrigala* individually and in binary solutions with nickel. Journal of Environmental Science, v. 21, p. 229-236.

PEDROZO, M. F. M. 2003. Cobre. In: AZEVEDO, F. A. de; CHASIN, A. da M. (ed.) Metais: gerenciamento da toxicidade. São Paulo: Editora Atheneu, p. 143-186.

PEREIRA, P.; PABLO, H. de; SUBIDA, M. D.; VALE, C.; PACHECO, M. 2009. Biochemical responses of the shore crab (*Carcinus maenas*) in a eutrophic and metal-contaminated coastal system (Óbidos lagoon, Portugal). Ecotoxicol. Environ. Saf., v. 72, p. 1471-1480.

PINHEIRO, H. T.; GASPARINI, J. L. 2009. Peixes recifais do Complexo Insular Oceânico Trindade-Martin Vaz: Novas Ocorrências, Atividades de Pesca, Mortandade Natural e Conservação. In: Mohr, L. V.; Castro, J. W. A.; Costa, P. M. S; Alves, R. J. V. (ed.) Ilhas Oceânicas brasileiras: Da Pesquisa ao Manejo. Volume II. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. p. 143 - 162.

PROTRINDADE. 2011. Programa de pesquisas científicas Ilha na Trindade. Disponível em: <https://www.mar.mil.br/secirm/trindade.htm#loc> . Acesso em: 19/03/2011.

RAMOS, J. R.; 1950. Expedição à Ilha de Trindade. Revista da Escola de Minas, v. 15 (6), p. 5-14.

RIBEIRO, A. P. 2006. Procedimento de fracionamento comparado a modelo de atenuação para a avaliação de mobilidade de metais pesados em sedimento da Baía de Sapatiba, Rio de Janeiro. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Nucleares e Energéticas. 148p.

ROCHA, M.L.C.F. 2009. Indicadores ecológicos e bioindicadores de contaminação ambiental na ictiofauna da Baía de Santos e do canal de Bertioga, São Paulo, Brasil. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 205p.

- SAEI-DEHKORDI, S. S.; FALLAH, A. A. 2011. Determination of copper, lead, cadmium and zinc content in commercially valuable fish species from the Persian Gulf using derivative potentiometric stripping analysis. *Microchemical Journal*, v. 98, 156-162.
- SANTOS, R. N. 2001. Implementação da metodologia de espectrometria alfa para a determinação de isótopos de U e Th em rochas ígneas: aplicação ao estudo do desequilíbrio radioativo na Ilha da Trindade. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico. 149p.
- SCHEUHAMMER, A. M. 1987. The Chronic Toxicity of Aluminium, Cadmium, Mercury, and Lead in Birds: A Review. *Environ. Pollut.*, v. 46, p. 263-295.
- SERAFINI, T. Z.; FRANÇA, J. B.; ANDRIGUETTO-FILHO, J.M. 2010. Ilhas Oceânicas Brasileiras: biodiversidade conhecida e a sua relação com o histórico de uso e ocupação humana. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, v. 10, n. 3, p. 281-301.
- SIDDIQUI, A. A.; DIKKI, D. 2011 Bioaccumulation, Recovery and Toxicity of Copper in Some Vital Organs of Freshwater Crab *Barytelphusa gureini*. *Journal of the Indian Society of Toxicology*, v. 7, n. 3, p. 1-5.
- SIMONETTI, P.; BOTTÉ, S. E.; FIORI, S. M., MARCOVECCHIO, J. E. 2012. Heavy-Metal Concentrations in Soft Tissues of the Burrowing Crab *Neohelice granulata* in Bahía Blanca Estuary, Argentina. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, v. 62, p. 243-253.
- SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J. 1998. Fundamentals of analytical chemistry. Saunders College Publishing, 7ed, 577p.
- SOARES, L. de C. 1964. As Ilhas Oceânicas In: A. de Azavedo (ed), Brasil, a Terra e o Homem, Bases Físicas. São Paulo: Ed Companhia Editora Nacional. V. 06, p. 341-378.
- SOTO, J. M. R.; 2009. Ações antrópicas negativas nas ilhas oceânicas brasileiras. In: Mohr, L. V. M.; Castro, J. W. A.; Costa, P. M. S.; Alves, J. V. A., Ilhas Oceânicas Brasileiras – da pesquisa ao manejo Vol. II. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. p. 329-350.

- TAVARES, T. M.; CARVALHO, F. M. 1992. Avaliação de exposição de populações humanas à metais pesados no ambiente: exemplos do Recôncavo Baiano. *Química Nova*, v. 15, n. 2, p. 147-154.
- TSIPOURA, N.; BURGER, J.; NEWHOUSE, M.; JEITNER, C.; GOCHFELD, M.; MIZRAHI, D. 2011. Lead, mercury, cadmium, chromium, and arsenic levels in eggs, feathers, and tissues of Canada geese of the New Jersey Meadowlands. *Environ. Res.*, v. 111, p. 775-784.
- TUROCZY, N. J.; MITCHELL, B. D.; LEVINGS, A. H.; RAJENDRAM, V. S. 2001. Cadmium, copper, mercury, and zinc concentrations in tissues of the King Crab (*Pseudocarcinus gigas*) from southeast Australian waters. *Environmental International*, v. 27, p. 327-334.
- UNDERWOOD, A.J. 1997. *Experiments in Ecology: Their Logical Design and Interpretation Using Analysis of Variance*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- US CFR. 2011. Code of Federal Regulations Title 40: Protection of Environment, Part 136 – Guidelines establishing test procedures for the analyses of pollutants, Appendix B to Part 136 – definition and procedure for the determination of Method Detection Limit rev. 1.11. Disponível em <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CFR-2011-title40-vol23/pdf/CFR-2011-title40-vol23-part136-appB.pdf>. Acesso em 15/06/2013.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). 2007. Method 7471B – Mercury in solid or semisolid waste (Manual cold-vapor technique). Revision 2, September.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency) – Mercury – Basic information, 2013. Disponível em: <http://www.epa.gov/mercury/about.htm>. Acesso em: 13/02/2013.
- VISWANATHAN, C.; AZHAGURAJ R.; SELVANAYAGAM M.; RAFFI, S. M. 2013. Heavy metal levels in different tissues of the Blue Swimming crab (*Portunus pelagicus*, Portunidae) collected from Ennore Estuary.

International Journal of Research in Fisheries and Aquaculture, v. 3, n.1, p. 1-3.

VITÓRIA-ES BRASIL. Decreto nº 8054, de 22 de maio de 1989. Decreta a criação da Unidade de conservação sob a denominação de Reserva Ecológica Municipal das Ilhas Oceânicas de Trindade e Arquipélago de Martins Vaz. Disponível em: <<http://sistemas.vitoria.es.gov.br/webleis/Arquivos/1989/D8054.PDF>>. Acesso em: 01/06/2011.

WALTER, H. S. 2004. The mismeasure of islands: Implications for biogeographical theory and the conservation of nature. Journal of Biogeography, v. 31, p. 1-21.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Environmental health criteria – zinc**. 2001. Disponível em: <http://www.who.int/ipcs/publications/ehc/en/>. Acesso em 04/07/2011.

APÊNDICES

Apêndice A – Dados brutos do caranguejo *G. grapsus*.

	Massa ¹ (g)	S e x o	Biomassa (g)	CC (mm)	L o c a l	Al (mg kg ⁻¹)	As (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Se (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
A001	0,352	M	110	57	T	34,734	21,312	0,016	38,214	27,569	1,277	1,013	0,310	1,266	101,44
A002	0,352	M	80	53	T	27,047	14,538	0,002	36,938	31,109	1,101	0,608	0,244	2,472	125,83
A003	0,344	M	80	52	T	38,856	23,874	0,039	38,520	65,917	1,550	0,781	0,090	1,134	114,74
A004	0,352	M	80	47	T	13,735	12,314	0,005	22,004	16,844	0,742	0,329	0,432	2,579	99,26
A005	0,355	M	100	53	T	26,900	16,157	0,023	39,594	20,097	0,978	0,815	0,128	1,747	112,23
A006	0,358	F	90	53	T	22,725	11,852	0,027	39,742	20,080	0,997	0,644	0,386	1,283	96,54
A007	0,365	F	100	53	T	18,489	6,283	0,022	29,903	15,085	0,859	0,677	0,153	1,699	77,75
A008	0,357	F	100	57	T	46,999	8,435	0,030	30,576	141,865	2,405	1,400	0,315	2,107	131,29
A009	0,354	F	90	51	T	16,015	8,542	0,025	32,696	86,986	0,961	0,561	0,993	0,517	93,81
A010	0,356	M	110	55	C	14,718	51,972	0,020	46,101	16,825	0,743	0,485	0,166	1,908	129,47
A011	0,354	M	100	56	C	14,929	24,031	0,035	38,845	86,656	0,881	0,359	0,886	2,098	132,02
A012	0,353	F	100	56	C	17,856	28,951	0,003	29,405	204,932	1,240	0,384	1,396	2,303	126,22 9
A013	0,354	F	90	57	C	17,139	20,148	0,019	34,599	16,605	1,132	0,499	0,266	1,650	126,50
A014	0,354	F	110	58	C	25,077	19,685	0,099	34,770	27,910	1,981	0,739	0,456	1,477	99,95
A015	0,357	F	60	48	C	14,991	14,542	0,025	17,925	13,957	0,529	0,493	0,468	0,005	71,09
A016	0,357	M	150	65	A	22,688	14,789	0,036	51,232	59,788	1,032	0,446	0,432	1,087	145,99
A017	0,358	M	160	64	A	15,757	51,361	0,029	47,925	13,363	0,827	0,446	0,120	2,320	170,06
A018	0,353	M	100	56	A	41,415	16,524	0,014	34,003	14,861	0,839	0,598	0,597	0,320	132,54
A019	0,355	M	95	55	A	20,728	13,177	0,000	27,822	28,122	0,885	0,635	0,489	0,864	100,62
A020	0,361	M	90	51	A	20,722	17,242	0,003	20,838	14,696	0,823	0,452	0,248	2,392	122,97
A021	0,361	M	130	64	A	43,250	14,545	0,025	43,413	64,188	1,625	0,634	0,071	1,694	132,86
A022	0,360	M	120	59	A	17,339	25,061	0,030	54,655	19,005	0,791	0,380	0,720	1,544	135,58
A023	0,360	M	100	57	A	19,696	25,189	0,018	40,815	28,874	1,030	0,579	0,362	1,506	132,10
A024	0,363	M	130	60	A	30,907	18,209	0,050	44,335	30,588	1,171	0,469	0,317	1,280	114,56
A025	0,355	F	60	46	A	15,731	16,495	0,038	18,783	12,611	0,775	0,617	0,096	1,371	74,53
A026	0,356	F	80	55	A	22,850	20,103	0,041	43,868	19,753	1,280	0,525	0,364	1,503	111,63
A001b	0,358	M	70	51	C	44,890	27,143	0,031	62,624	68,375	1,829	1,370	0,471	0,763	111,41
A002b	0,353	M	80	50	C	61,029	21,314	0,041	36,846	32,790	1,453	1,369	0,150	1,290	107,43
A003b	0,355	M	80	49	C	28,753	29,177	-0,001	45,421	43,090	1,176	0,578	0,395	3,069	121,17
A004b	0,354	M	80	52	C	44,900	33,446	0,023	43,055	56,353	1,855	0,917	0,034	0,171	108,80
A005b	0,357	M	90	50	C	45,528	39,337	0,007	42,764	78,859	1,473	0,779	0,568	2,328	119,93
A006b	0,355	F	50	48	C	47,550	36,399	0,025	42,312	122,670	2,550	1,279	0,165	1,762	120,94
A007b	0,356	F	60	48	C	19,518	80,750	0,059	43,047	23,969	1,133	0,920	0,455	1,331	131,48
A008b	0,352	F	60	42	C	46,443	33,800	0,027	36,342	52,205	1,654	0,778	0,569	1,921	116,11
A009b	0,357	F	90	57	C	18,449	35,354	0,010	40,506	57,351	1,827	0,734	0,356	1,934	125,95
A010b	0,358	F	100	55	C	35,011	14,911	0,033	35,954	36,429	0,959	0,483	0,348	0,790	114,79
A011b	0,354	M	90	50	T	122,32	12,788	0,012	43,032	142,564	3,154	1,420	0,251	1,473	89,83
A012b	0,356	M	90	53	T	49,590	28,266	-0,023	57,860	160,749	2,972	1,183	0,338	2,084	117,40
A013b	0,355	M	70	48	T	51,274	15,558	0,000	21,636	52,140	2,517	0,468	0,407	2,528	98,21
A014b	0,356	M	80	51	T	48,359	12,721	0,031	40,159	71,752	1,730	1,047	0,336	2,134	95,37
A015b	0,358	M	50	50	T	29,904	8,489	0,016	202,99	25,981	0,977	0,631	0,401	1,997	91,53

Continuação do Apêndice A – Dados brutos do caranguejo *G. grapsus*.

	Massa ¹ (g)	S e x o	Biomassa (g)	CC (mm)	L o c a l	Al (mg kg ⁻¹)	As (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Se (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
A016b	0,353	F	60	48	T	101,070	11,921	0,071	41,869	119,26	2,448	1,150	0,497	1,016	90,67
A017b	0,357	F	70	45	T	130,761	9,726	0,031	36,308	155,50	3,690	1,074	0,589	1,948	91,684
A018b	0,351	F	60	48	T	19,947	7,156	0,008	166,852	32,61	0,878	0,462	0,223	1,767	78,497
A019b	0,352	F	80	50	T	49,256	7,937	0,037	40,907	80,63	1,944	0,826	0,428	2,385	92,475
A020b	0,355	F	100	56	T	54,645	6,653	0,014	27,409	116,43	2,651	1,178	0,317	1,820	76,792
A021b	0,351	M	90	60	A	90,708	13,949	0,071	29,198	113,18	2,301	0,740	0,256	0,487	136,27
A022b	0,355	M	140	63	A	70,148	22,977	0,009	43,569	29,47	2,141	0,442	0,469	2,169	140,82
A023b	0,357	M	70	52	A	33,256	13,425	0,034	20,964	47,15	2,719	1,040	0,406	0,768	85,665
A024b	0,354	M	120	61	A	55,833	36,074	0,053	24,806	31,80	1,407	0,508	0,324	2,287	136,10
A025b	0,359	M	130	62	A	17,451	29,061	0,054	36,114	15,96	0,623	0,214	0,413	2,635	160,56
A026b	0,355	F	50	46	A	38,134	9,628	0,023	38,556	51,23	1,692	0,655	0,169	1,579	87,226
A027b	0,355	F	60	43	A	25,156	11,197	0,004	25,102	62,13	1,794	0,654	0,183	1,148	67,257
A028b	0,352	F	50	45	A	38,109	14,102	0,040	23,823	40,31	1,465	0,611	0,610	2,667	88,350
A029b	0,355	F	50	44	A	30,341	8,225	-0,005	15,532	19,17	0,804	0,338	0,196	2,434	65,279
A030b	0,361	F	80	46	A	25,191	11,796	0,019	18,362	16,67	1,748	0,594	0,510	1,488	94,968

A: Praia do Andrada

C: Calheta

CC: comprimento da carapaça

F: Fêmea

M: Macho

T: Praia da Tartaruga

(1): massa utilizada para a digestão

Apêndice B– Dados brutos do caranguejo *G. lagostoma*.

	Massa ¹ (g)	S e x o	Biomassa (g)	CC (mm)	L o c a l	Al (mg kg ⁻¹)	As (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Se (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
G001	0,358	M	220	67	R	35,657	0,657	0,050	45,569	62,639	1,638	0,418	0,618	1,669	218,224
G002	0,353	M	180	61	R	27,636	12,760	0,112	56,956	28,294	1,351	0,375	0,209	0,969	195,470
G003	0,356	M	200	62	R	80,718	1,834	0,105	48,429	90,159	2,666	0,540	0,806	1,821	222,382
G004	0,355	M	220	66	R	48,843	2,527	0,125	54,121	42,482	1,834	0,682	0,588	0,824	254,981
G005	0,363	M	249	69	R	40,392	3,137	0,099	44,366	75,897	1,755	0,552	0,441	2,276	257,545
G006	0,352	M	140	60	E	35,265	0,722	0,323	42,319	57,671	2,459	0,409	0,464	1,600	217,604
G007	0,361	M	140	60	E	63,111	1,457	0,495	63,765	56,682	3,422	0,755	0,022	1,216	246,691
G008	0,357	M	70	56	E	106,42	3,610	0,217	38,405	59,538	3,248	0,598	0,062	1,349	210,879
G009	0,354	F	100	57	E	64,669	0,741	1,628	46,563	52,314	3,218	0,580	0,171	2,380	203,157
G010	0,368	F	210	68	E	78,963	4,989	1,094	40,961	90,714	3,202	0,588	0,401	1,664	205,574
G011	0,354	F	110	55	E	28,118	8,998	0,509	35,428	27,085	3,130	0,452	0,516	4,104	197,854
G012	0,356	M	230	65	C	17,253	4,849	0,406	64,870	19,853	3,323	0,262	0,169	4,433	275,602
G013	0,351	M	160	58	C	27,415	8,081	1,332	72,533	37,950	1,737	0,447	0,422	3,769	214,059
G014	0,352	M	110	56	C	29,616	7,033	1,333	73,410	35,693	2,134	0,416	0,000	2,558	214,467
G015	0,358	F	120	55	C	23,209	2,162	0,529	71,966	15,694	1,612	0,363	0,295	1,781	215,751
G016	0,355	F	130	60	C	22,589	7,454	1,310	49,193	22,840	2,049	0,313	0,267	4,646	255,685
G017	0,352	M	100	53	D	36,793	1,932	0,242	68,413	238,877	3,981	0,636	1,035	1,537	254,201
G018	0,362	M	220	69	D	86,743	10,786	0,455	58,978	164,936	2,189	0,618	0,488	0,852	234,637
G019	0,356	M	200	64	D	29,687	10,218	0,106	117,65	28,569	2,005	0,449	0,176	1,914	252,902
G020	0,359	M	130	59	D	86,410	3,621	0,218	75,337	147,249	2,390	0,617	0,586	1,052	215,170
G021	0,353	F	120	56	D	19,099	7,879	0,465	56,444	22,932	2,550	0,507	0,203	1,878	234,008
G022	0,355	M	150	63	A	34,130	1,456	0,183	55,658	35,510	1,620	0,423	0,279	0,616	266,849
G023	0,353	M	180	68	A	55,594	0,432	0,037	68,506	39,622	1,691	0,371	0,344	0,665	231,267
G024	0,360	F	220	75	A	36,784	18,631	0,274	46,700	48,323	1,539	0,292	0,103	1,088	213,479
G025	0,354	F	260	72	A	33,833	3,740	0,115	74,317	30,322	1,277	0,471	0,371	0,355	200,787
G026	0,356	F	230	70	A	43,811	35,029	0,171	63,871	44,436	1,859	0,371	0,245	0,565	198,191
G027	0,360	M	230	67	T	22,489	62,856	0,249	59,294	24,294	1,214	0,462	0,040	0,586	231,571
G028	0,361	M	260	72	T	16,714	7,874	0,130	70,260	21,110	1,245	0,306	0,708	2,029	251,312
G029	0,358	M	200	64	T	28,317	16,420	0,010	83,470	27,892	1,152	0,516	0,046	1,282	245,283
G030	0,358	M	290	70	T	52,936	47,462	0,176	58,577	37,184	1,479	0,715	0,147	1,206	244,947
G001b	0,354	M	230	67	A	54,255	9,314	0,445	67,936	89,929	2,017	0,627	0,410	0,576	285,575
G002b	0,352	M	210	64	A	72,657	7,782	0,233	105,26	75,704	2,219	0,674	-0,043	0,040	283,681
G003b	0,365	M	270	70	A	62,800	3,986	0,416	68,627	60,589	1,764	1,274	0,230	-0,686	280,875
G004b	0,359	M	210	66	A	55,735	0,641	0,121	66,007	61,876	1,897	0,578	0,316	1,609	281,504
G005b	0,354	M	230	69	A	62,593	1,182	0,083	72,469	51,866	1,713	0,886	0,278	1,123	289,347
G006b	0,356	F	230	70	A	55,061	5,483	0,297	58,175	45,519	2,059	1,051	0,692	0,563	224,766
G007b	0,354	F	160	64	A	41,173	0,777	0,210	45,983	52,014	1,631	0,693	0,344	0,651	213,358
G008b	0,358	F	140	60	A	60,211	1,481	0,716	51,990	75,774	3,832	1,637	0,369	1,364	251,168
G009b	0,358	F	260	73	A	44,892	2,120	0,441	57,091	66,652	1,527	0,775	0,074	1,498	213,824
G010b	0,363	F	170	64	A	51,632	6,391	0,320	75,176	51,450	2,312	0,725	0,052	1,024	232,626
G011b	0,353	M	260	76	T	24,702	69,682	0,583	56,397	20,287	0,688	0,304	0,331	2,553	266,307
G012b	0,358	M	170	58	T	70,544	6,228	0,470	41,610	37,035	1,965	0,434	0,603	1,912	234,313

Apêndice B – Dados brutos do caranguejo *G. lagostoma*.

	Massa ¹ (g)	S e x o	Biomassa (g)	CC (mm)	L o c a l	Al (mg kg ⁻¹)	As (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Se (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
G013b	0,355	M	210	66	T	41,178	44,093	0,891	68,036	51,073	1,423	0,567	0,620	4,369	242,461
G014b	0,354	M	170	59	T	25,568	77,323	0,202	78,884	31,335	1,527	0,612	0,543	1,595	244,453
G015b	0,353	M	210	66	T	22,520	57,367	0,561	73,350	21,662	0,846	0,411	0,682	3,094	296,604
G016b	0,354	F	110	54	T	15,409	15,164	0,791	55,593	28,970	1,084	0,412	0,310	1,960	212,415
G017b	0,355	F	200	68	T	32,256	30,261	0,435	38,133	73,026	2,084	0,928	0,691	0,300	218,414
G018b	0,355	F	120	62	T	30,857	34,185	0,493	37,563	24,585	0,939	0,617	0,220	2,351	205,106
G019b	0,352	F	160	62	T	29,804	17,666	0,466	30,264	109,696	2,285	1,469	0,109	3,304	209,584
G020b	0,362	F	130	57	T	34,560	57,943	0,835	75,410	35,002	1,270	0,596	0,598	2,492	229,884
G021b	0,353	M	220	66	C	18,593	7,631	0,123	62,201	17,373	1,048	0,230	0,332	1,907	226,591
G022b	0,354	M	280	69	C	36,883	1,141	0,120	69,754	44,957	1,918	0,495	0,399	1,379	299,442
G023b	0,354	M	170	59	C	46,687	1,090	0,432	74,247	58,352	1,962	0,710	0,457	2,055	259,592
G024b	0,356	M	150	58	C	54,352	1,552	0,192	81,601	54,217	1,826	0,300	0,308	1,889	259,559
G025b	0,356	M	210	66	C	31,356	0,719	0,104	48,245	50,886	1,356	0,536	0,823	0,322	269,176
G026b	0,353	F	140	53	C	30,372	1,573	0,471	69,636	50,653	2,052	0,576	0,443	1,382	238,292
G027b	0,358	F	170	62	C	27,202	24,737	0,470	53,021	36,459	1,646	0,481	0,440	1,264	227,615
G028b	0,352	F	220	69	C	39,448	33,064	0,233	61,796	62,442	2,047	0,591	0,422	3,187	289,630
G029b	0,354	F	130	52	C	42,893	2,118	0,475	53,623	57,071	2,096	0,682	0,307	1,729	213,878
G030b	0,355	F	160	63	C	52,655	1,850	0,507	60,078	68,716	2,581	1,368	0,509	1,379	235,238

A: Praia do Andrada

C: Calheta

CC: comprimento da carapaça

D: Pico do Desejado

E: ECIT

F: Fêmea

M: Macho

R: Rancho

T: Praia da Tartaruga

X: Rampa da Cabrita

(1): massa utilizada para a digestão

Apêndice C – Dados brutos do músculo do peixe *M. niger*

	Massa ¹ (g)	Biomassa total ² (g)	CTM (mm)	L o c a l	Al (mg kg ⁻¹)	As (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Se (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
PM001	0,359	1050	229	C	15,408	22,482	0,042	1,399	18,035	1,371	0,448	0,093	2,369	22,135
PM002	0,357	1320	231	C	14,092	33,120	0,032	1,606	18,384	1,256	0,604	0,765	0,956	23,799
PM003	0,356	1540	232,4	C	18,843	23,818	0,072	1,453	20,341	1,108	0,676	0,118	1,164	18,283
PM004	0,357	1270	222,4	C	18,573	25,146	0,063	1,116	16,101	0,851	0,429	0,119	1,400	17,834
PM005	0,355	1310	230	C	15,653	28,779	0,055	0,952	29,754	1,109	0,631	1,090	0,885	17,232
PM006	0,369	1820	247	C	32,801	23,373	0,048	1,323	21,268	1,623	0,470	0,201	1,847	19,044
PM007	0,358	1090	249,6	C	32,735	24,022	0,066	1,238	16,655	2,370	0,584	0,194	1,057	17,540
PM008	0,353	1250	250	C	25,395	24,506	0,040	3,076	20,492	1,144	1,765	0,405	0,814	24,698
PM009	0,355	1230	261,4	C	17,268	24,211	0,041	1,536	25,981	0,962	0,383	0,127	1,808	18,836
PM010	0,359	880	239,4	C	22,336	26,468	0,062	1,260	17,256	1,082	0,556	0,060	1,508	22,830
PM011	0,357	1060	241,4	C	17,411	25,066	0,032	1,867	15,097	1,009	0,468	0,158	1,331	24,294
PM012	0,358	1359	250,4	C	35,776	15,854	0,035	1,721	19,557	1,816	1,028	0,398	0,631	17,636
PM013	0,355	1480	243,2	C	23,153	22,151	0,061	2,858	19,015	1,055	4,155	0,540	1,343	26,620
PM014	0,357	1290	241,8	C	46,415	17,621	0,024	1,801	23,902	1,298	0,601	0,088	0,444	15,919
PM015	0,356	1600	249,4	C	20,396	24,083	0,052	2,697	11,018	0,777	0,354	0,483	2,605	19,851
PM016	0,356	1220	233,8	C	34,974	25,607	0,049	1,478	18,746	1,066	0,613	0,476	1,723	19,035
PM017	0,353	1090	230	C	15,750	22,372	0,027	0,791	17,483	1,237	0,314	0,206	1,244	20,543
PM018	0,353	1410	240	C	45,114	22,343	0,029	1,386	24,357	1,383	3,387	0,361	2,030	21,979
PM019	0,364	1360	234	C	24,192	19,728	0,035	1,132	25,219	0,897	0,476	0,128	1,704	23,204
PM020	0,357	1860	244	C	16,315	19,539	0,025	1,068	14,253	0,855	0,546	-0,104	0,556	14,569
PM021	0,364	1780	250	C	13,136	25,007	0,038	1,395	18,696	1,021	0,455	0,238	2,102	17,725
PM023	0,364	1550	236	C	16,896	17,361	0,033	0,816	20,456	0,802	0,506	-0,144	2,352	15,029
PM024	0,360	1740	245	C	12,809	23,901	0,042	1,737	16,373	1,148	0,569	0,463	2,437	15,023
PM025	0,355	1410	228	C	13,200	25,116	0,042	0,812	15,644	0,990	0,254	0,611	2,915	18,177
PM026	0,354	1370	231	C	37,929	28,969	0,030	1,683	19,144	1,134	0,774	0,230	0,586	17,594
PM027	0,363	1820	261	C	18,492	18,825	0,046	0,903	20,293	0,933	0,743	2,203	1,515	16,034
PM028	0,357	1670	250	C	30,998	32,372	0,023	1,424	22,824	1,035	0,497	0,325	0,294	17,751
PM029	0,355	1810	256	C	42,683	42,450	0,026	1,417	351,43	2,426	1,092	1,276	1,354	18,791
PM030	0,362	1720	239	C	33,696	31,134	0,038	1,479	68,371	1,933	1,097	0,328	0,753	24,710
PM001B	0,355	1620	245,8	C	34,138	30,789	-0,020	1,634	17,825	1,224	0,301	0,643	1,623	16,230
PM002B	0,354	1640	241	C	8,900	26,011	0,027	0,743	49,382	0,965	0,366	0,445	0,206	19,333
PM003B	0,353	1700	246,6	C	8,360	30,351	0,033	0,687	18,847	0,993	0,414	0,730	2,133	25,574
PM004B	0,353	1580	240,6	C	7,763	40,261	0,029	0,675	35,911	1,018	0,310	1,451	1,715	22,823
PM005B	0,356	1680	246,4	C	8,158	22,256	0,028	0,730	19,000	1,005	0,516	2,022	2,169	25,890
PM006B	0,358	1400	241,4	C	5,409	20,994	0,028	0,591	13,862	0,866	0,240	0,801	1,136	20,946
PM007B	0,353	1390	239	C	7,990	34,016	0,052	0,659	22,368	0,997	0,280	0,792	1,144	27,747
PM008B	0,353	1430	232,4	C	7,278	54,967	0,040	0,661	12,864	0,854	0,256	0,539	2,021	22,239
PM009B	0,355	1460	240,8	C	7,589	35,439	0,048	0,698	16,479	0,985	0,339	0,838	1,699	23,650
PM010B	0,352	1420	235,2	C	11,681	33,488	0,027	1,406	21,154	1,791	0,185	0,579	1,536	16,741
PM011B	0,357	1420	236,2	C	8,369	34,832	0,027	0,834	29,898	0,888	0,330	0,585	1,719	18,163
PM012B	0,351	1550	239,4	C	8,571	29,161	0,044	0,573	18,296	1,098	0,320	0,540	2,870	24,525
PM013B	0,352	1650	240,6	C	9,208	33,068	0,043	0,688	10,985	0,692	0,345	0,282	0,872	17,749

Continuação do Apêndice C – Dados brutos do músculo do peixe *M. niger*

	Massa ¹ (g)	Biomassa total ² (g)	CTM (mm)	L o c a l	Al (mg kg ⁻¹)	As (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Se (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
PM014B	0,352	1450	236	C	29,845	34,350	0,044	0,980	20,179	1,001	0,316	0,170	2,291	26,953
PM015B	0,358	1480	236	C	6,013	24,840	0,045	0,612	12,355	0,747	0,193	0,302	2,019	20,116
PM016B	0,356	1680	245,2	C	8,295	25,184	0,023	0,689	14,629	0,869	0,271	0,538	1,119	20,638
PM017B	0,354	1520	251	C	16,927	24,641	0,024	1,145	16,001	0,723	0,507	0,532	2,042	16,335
PM018B	0,352	1490	253,2	C	15,764	28,154	0,052	1,030	13,498	0,732	0,392	0,753	1,621	17,148
PM019B	0,352	1490	243,8	C	17,537	30,529	0,019	2,574	15,161	0,735	1,381	0,107	0,569	17,298
PM020B	0,354	1330	230,4	C	17,454	25,856	0,016	0,652	11,809	0,705	0,497	0,953	1,456	16,119
PM021B	0,355	1540	238,2	C	7,376	43,785	0,017	0,749	11,527	0,748	0,245	0,412	2,234	17,280
PM022B	0,355	1610	244,2	C	7,620	50,183	0,009	0,726	11,732	1,009	0,293	0,564	1,835	18,278
PM023B	0,352	2000	256	C	4,311	25,676	0,027	0,635	11,675	0,576	0,184	0,480	2,689	16,611
PM024B	0,358	1480	241,2	C	13,550	27,608	0,003	25,329	19,343	1,478	0,310	0,266	0,961	13,843
PM025B	0,363	1880	252,6	C	19,214	27,602	0,019	2,436	14,509	0,904	1,265	0,389	1,201	17,577
PM026B	0,354	1710	250	C	9,040	39,717	0,021	0,887	26,920	0,834	0,246	0,690	1,809	16,999

C: Calheta

CTM: Média do comprimento total

(1): massa utilizada para a digestão

(2): biomassa total da amostra composta

Apêndice D – Dados brutos do fígado do peixe *M. niger*

	Massa ¹ (g)	Biomassa total ² (g)	CTM (mm)	L o c a l	Al (mg kg ⁻¹)	As (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Se (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
PF001	0,359	1050	229	C	10,188	8,217	6,389	5,578	126,957	1,428	0,467	0,454	0,576	230,489
PF002	0,357	1320	231	C	22,435	19,778	8,700	5,925	86,382	11,679	0,452	0,458	3,856	294,395
PF003	0,358	1540	232,4	C	10,968	10,714	9,299	6,223	309,751	6,190	0,288	0,394	2,297	252,716
PF004	0,360	1270	222,4	C	17,810	18,826	13,541	6,521	410,456	5,498	0,534	0,603	2,583	324,713
PF005	0,357	1310	230	C	10,902	12,763	9,717	7,945	331,289	6,845	0,754	0,658	2,395	458,662
PF006	0,354	1820	247	C	19,107	8,213	2,676	2,085	192,801	4,041	0,667	0,596	1,555	173,356
PF007	0,358	1090	249,6	C	10,649	13,474	24,081	11,293	413,946	6,213	0,779	0,263	4,560	307,824
PF008	0,361	1250	250	C	10,329	12,260	8,981	5,023	242,759	6,211	0,577	0,431	0,442	261,428
PF009	0,360	1230	261,4	C	8,715	8,885	8,471	4,067	133,873	3,426	1,661	0,352	1,668	226,030
PF010	0,361	880	239,4	C	4,782	13,120	7,126	3,652	166,837	4,200	0,430	0,616	1,041	193,102
PF011	0,355	1060	241,4	C	10,239	9,602	5,277	4,855	309,529	5,229	0,685	0,564	1,430	222,663
PF012	0,354	1359	250,4	C	6,767	7,246	4,691	2,999	99,486	8,301	0,374	0,603	1,958	273,947
PF013	0,357	1480	243,2	C	12,648	10,721	8,681	5,870	201,256	6,838	0,298	0,863	1,320	210,698
PF014	0,352	1290	241,8	C	11,724	7,201	4,009	3,641	212,582	6,103	0,575	0,854	1,588	204,113
PF015	0,353	1600	249,4	C	10,354	12,329	8,519	4,569	358,399	7,378	0,503	0,560	1,604	142,826
PF016	0,353	1220	233,8	C	10,601	18,957	8,508	5,764	301,588	4,613	0,507	0,681	3,783	212,319
PF017	0,366	1090	230	C	35,173	11,231	6,017	4,804	342,704	8,061	0,828	0,380	1,174	272,835
PF018	0,359	1410	240	C	10,294	27,000	16,635	10,080	639,272	6,522	0,559	0,801	4,901	247,225
PF019	0,360	1360	234	C	9,974	12,548	13,179	7,278	385,011	6,811	0,571	0,648	2,770	218,255
PF020	0,360	1860	244	C	17,890	10,465	6,851	3,550	290,220	7,071	0,320	1,237	1,284	266,332
PF021	0,355	1780	250	C	13,955	9,146	8,029	4,214	158,358	4,843	0,621	0,632	3,339	151,511
PF022	0,356	1610	239	C	8,859	20,494	31,217	13,112	840,548	6,902	1,024	1,236	4,989	329,310
PF023	0,353	1550	236	C	11,242	15,568	44,742	16,274	782,953	8,830	0,599	0,605	6,913	356,821
PF024	0,369	1740	245	C	10,712	10,741	7,488	3,860	167,866	4,155	0,425	0,637	0,972	109,952
PF025	0,352	1410	228	C	12,189	15,254	18,296	7,729	514,332	9,615	0,634	0,620	2,212	346,620
PF026	0,363	1370	231	C	10,284	13,330	5,227	3,239	170,104	5,195	0,366	0,802	1,353	154,475
PF027	0,355	1820	261	C	12,670	14,160	16,447	8,587	513,931	14,392	0,346	0,915	2,294	400,031
PF028	0,350	1670	250	C	12,398	12,373	4,468	3,754	274,388	4,562	0,378	0,327	2,233	118,593
PF029	0,352	1810	256	C	11,943	6,200	1,848	1,622	72,841	3,366	0,312	0,760	-0,438	108,806
PF001b	0,352	1620	245,8	C	27,070	9,219	5,606	4,421	222,992	3,027	0,688	0,330	1,584	133,259
PF002b	0,361	1640	241	C	14,484	7,873	5,043	2,823	91,563	2,501	0,562	0,671	1,284	95,789
PF003b	0,355	1700	246,6	C	11,728	11,100	5,834	6,982	165,117	5,712	0,290	0,826	2,561	172,908
PF004b	0,357	1580	240,6	C	11,074	11,121	7,786	4,754	272,017	2,977	0,504	0,460	0,538	95,413
PF005b	0,367	1680	246,4	C	15,671	10,832	10,282	5,088	150,101	7,210	0,637	1,099	1,279	199,519
PF006b	0,365	1400	241,4	C	6,992	6,974	6,168	3,080	79,555	3,048	0,379	1,517	-0,228	102,980
PF007b	0,366	1390	239	C	11,784	10,221	9,247	6,180	127,744	4,126	0,633	0,745	1,241	125,385
PF008b	0,353	1430	232,4	C	15,357	8,879	5,163	3,554	197,902	5,052	0,450	0,406	1,385	165,297
PF009b	0,367	1460	240,8	C	8,771	20,908	9,006	3,331	40,106	2,556	0,331	0,925	2,827	128,972
PF010b	0,363	1420	235,2	C	11,474	10,632	2,406	1,796	40,807	1,318	0,418	0,829	0,250	49,344
PF011b	0,357	1420	236,2	C	12,893	23,941	6,045	4,016	185,067	4,009	0,337	0,847	0,690	121,408
PF012b	0,353	1550	239,4	C	19,733	15,370	10,378	5,504	164,078	5,386	0,254	0,592	2,278	153,640
PF013b	0,354	1650	240,6	C	11,344	27,608	3,358	3,212	45,898	2,624	0,402	0,787	2,365	77,370

Continuação do Apêndice D – Dados brutos do fígado do peixe *M. niger*

	Massa ¹ (g)	Biomassa total ² (g)	CTM (mm)	L o c a l	Al (mg kg ⁻¹)	As (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Se (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
PF014b	0,363	1450	236	C	6,125	16,993	8,641	4,469	84,060	2,906	0,301	0,742	1,281	97,419
PF015b	0,355	1480	236	C	12,770	6,594	4,081	3,035	119,718	3,768	0,529	0,806	1,117	109,986
PF016b	0,356	1680	245,2	C	9,031	14,324	10,209	11,995	412,362	6,122	0,854	1,082	0,923	152,081
PF017b	0,367	1520	251	C	60,179	12,371	8,180	4,468	143,219	3,550	0,226	0,681	0,537	123,442
PF018b	0,378	1490	253,2	C	10,504	6,816	3,135	3,131	90,031	1,608	0,355	0,656	0,096	50,957
PF019b	0,357	1490	243,8	C	11,492	14,113	5,839	3,972	211,484	6,024	0,296	1,245	0,349	85,228
PF020b	0,360	1330	230,4	C	12,733	18,862	9,052	3,770	162,266	3,258	0,471	0,775	-0,001	106,780
PF021b	0,354	1540	238,2	C	13,689	12,380	2,771	2,499	86,566	3,358	0,365	1,105	1,915	144,119
PF022b	0,354	1610	244,2	C	14,014	8,970	1,919	1,930	22,370	1,076	0,469	1,090	1,336	26,206
PF023b	0,353	2000	256	C	17,629	13,336	4,488	3,021	120,699	3,637	0,572	0,664	0,850	112,392
PF024b	0,371	1480	241,2	C	13,616	16,446	3,048	3,007	55,295	1,270	0,605	0,691	1,353	34,494
PF025b	0,363	1880	252,6	C	16,209	14,145	2,354	2,421	59,737	1,898	0,401	0,998	1,872	65,602
PF026b	0,365	1710	250	C	13,534	7,461	2,835	2,303	165,692	3,780	0,837	0,762	2,671	164,808
PF027b	0,359	1540	244	C	29,936	26,017	4,014	4,138	212,622	3,965	0,723	1,224	1,624	133,737
PF028b	0,351	1520	258,4	C	14,868	6,878	3,235	2,133	94,681	4,916	0,265	0,783	0,266	177,377
PF029b	0,373	1470	237,4	C	11,323	17,019	3,183	2,384	23,609	1,558	0,626	0,558	1,870	43,214
PF030b	0,354	1620	253	C	70,394	16,042	15,995	7,632	228,367	4,246	0,731	0,982	2,901	190,372

C: Calheta

CTM: Média do comprimento total

(1): massa utilizada para a digestão

(2) biomassa total da amostra composta

Apêndice E – Dados brutos do músculo do peixe *Harengula sp.*

	Massa ¹ (g)	Biomassa total ² (g)	CTM (mm)	L o c a l	Al (mg kg ⁻¹)	As (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Se (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
SM001	0,355	520	171,8	C	10,372	44,726	0,085	2,448	81,854	3,028	0,366	0,838	3,080	30,011
SM002	0,358	520	171,8	C	12,833	43,248	0,077	1,905	95,126	2,581	0,249	0,957	2,238	29,745
SM003	0,354	480	169,2	C	11,161	40,938	0,065	2,301	42,923	1,828	0,424	0,795	2,279	31,605
SM004	0,361	510	169,7	C	11,595	37,989	0,068	2,414	48,152	1,529	0,456	0,521	3,866	30,461
SM005	0,356	520	174,2	C	8,617	44,767	0,089	2,163	45,807	1,394	0,269	0,734	2,482	36,465
SM006	0,356	510	169,1	C	16,023	33,182	0,034	9,363	23,559	0,546	0,523	0,507	2,435	17,939
SM007	0,361	510	170,2	C	16,141	30,553	0,037	150,40	33,144	1,455	0,513	0,795	3,773	26,144
SM008	0,355	460	166,4	C	16,131	48,148	0,111	2,314	46,101	1,159	0,262	0,517	3,514	37,500
SM009	0,354	450	167,2	P	7,838	46,182	0,056	2,263	41,329	1,407	0,268	-0,043	2,199	28,748
SM010	0,355	420	162,7	P	8,415	49,965	0,053	2,362	34,479	1,176	0,337	0,414	2,441	30,609
SM011	0,352	430	163,7	P	14,695	28,905	0,034	2,613	29,305	0,938	0,405	0,273	3,199	22,823
SM012	0,353	380	157,5	P	4,988	37,698	0,062	2,040	33,769	1,022	0,227	0,935	2,010	30,352
SM013	0,355	470	168,9	P	7,619	40,929	0,121	2,238	36,893	1,749	0,381	0,358	2,967	32,384
SM014	0,356	390	162,3	P	7,321	42,966	0,041	3,095	39,914	1,079	0,263	0,495	2,898	29,424
SM015	0,354	410	162,9	P	8,605	44,585	0,094	1,905	62,399	2,010	0,483	0,267	6,108	33,748
SM016	0,354	440	163,8	C	9,380	42,818	0,116	2,183	44,636	0,917	0,339	0,877	3,912	21,675
SM017	0,353	430	174,6	C	44,729	48,462	0,066	1,939	64,872	1,185	0,548	0,964	2,977	22,376
SM018	0,355	490	170,2	C	5,890	39,734	0,069	1,790	40,915	1,163	0,282	0,829	3,395	22,540
SM019	0,353	480	166,3	C	7,818	37,456	0,067	1,864	36,027	1,009	0,264	0,349	2,983	27,631
SM020	0,355	470	168	C	32,574	33,668	0,043	2,637	30,723	0,986	1,050	0,783	3,884	20,463
SM021	0,353	450	174,3	C	9,065	41,213	0,084	2,070	36,476	1,222	0,268	0,605	2,924	25,744
SM022	0,355	480	169,4	C	17,371	31,434	0,051	2,100	48,984	1,413	0,704	0,034	2,319	20,129
SM023	0,352	450	166	C	24,978	35,271	0,030	1,817	53,911	0,924	0,436	0,558	1,581	19,483
SM024	0,351	480	167,5	C	13,310	32,801	0,043	33,592	23,513	0,945	0,345	0,138	3,917	15,690
SM025	0,357	480	172,7	C	7,182	42,293	0,067	1,378	28,167	0,933	0,263	0,777	2,111	23,091
SM027	0,355	460	164,9	C	8,972	46,174	0,081	1,701	35,519	0,974	0,339	0,673	2,944	28,136
SM028	0,354	500	169,7	C	13,827	43,428	0,067	1,200	26,738	0,964	0,339	0,611	2,296	24,514
SM030	0,353	500	165,2	C	7,984	37,412	0,042	1,698	32,401	0,884	0,291	0,618	3,281	27,489

C: Calheta

CTM: Média do comprimento total

P: Parcel

(1): massa utilizada para a digestão

(2) biomassa total da amostra composta

Apêndice F – Dados brutos do fígado do peixe *Harengula sp.*

	Massa ¹ (g)	Biomassa total ² (g)	CTM (mm)	L o c a l	Al (mg kg ⁻¹)	As (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Se (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
SF001	0,354	520	171,8	C	126,292	72,694	3,737	7,700	634,005	6,783	0,597	0,859	28,363	112,20
SF002	0,354	520	171,8	C	13,895	54,563	2,752	10,578	490,730	3,517	0,197	0,807	27,667	75,404
SF003	0,351	480	169,2	C	15,564	47,645	2,457	48,113	444,928	3,481	1,390	0,422	27,306	76,012
SF004	0,356	510	169,7	C	15,304	62,908	3,158	8,695	477,644	3,723	0,648	0,453	27,293	84,284
SF005	0,364	520	174,2	C	18,223	65,511	2,839	7,189	499,696	2,846	0,175	0,401	21,374	77,908
SF006	0,320	510	169,1	C	18,932	54,304	3,448	9,410	625,096	4,258	0,364	0,293	30,007	84,148
SF007	0,353	510	170,2	C	56,106	41,903	3,210	9,272	454,266	4,224	0,224	0,599	23,911	78,658
SF008	0,355	460	166,4	C	24,464	51,736	3,999	6,155	673,364	4,453	4,071	0,590	26,984	106,17
SF009	0,351	450	167,2	P	16,336	84,283	3,202	7,896	600,958	3,572	0,075	0,449	29,042	84,761
SF010	0,354	420	162,7	P	17,246	77,666	3,313	7,703	561,408	3,047	0,298	0,496	23,820	79,275
SF011	0,354	430	163,7	P	15,728	59,512	3,488	8,415	525,663	3,085	0,358	0,625	24,431	76,975
SF012	0,351	380	157,5	P	13,099	55,267	5,101	7,107	589,525	2,711	0,286	0,269	23,319	87,163
SF013	0,355	470	168,9	P	15,938	75,410	3,034	23,431	590,013	3,503	0,374	0,458	25,346	84,022
SF014	0,355	390	162,3	P	13,988	73,351	2,853	6,927	663,008	2,769	0,302	0,428	27,763	77,701
SF015	0,353	410	162,9	P	9,833	85,865	4,203	5,769	860,201	3,134	0,449	0,324	33,746	104,55
SF016	0,246	440	163,8	C	15,982	11,493	0,684	1,791	146,260	1,347	0,515	1,038	6,197	21,549
SF017	0,273	430	174,6	C	24,897	61,598	2,596	7,821	557,057	4,237	0,651	0,561	24,376	77,460
SF018	0,216	490	170,2	C	51,256	53,741	3,496	6,520	775,133	6,861	1,097	2,014	29,465	97,662
SF019	0,320	480	166,3	C	34,423	56,163	3,955	6,906	793,419	4,719	0,587	0,897	29,052	103,28
SF020	0,275	470	168	C	40,371	70,757	3,701	9,363	719,761	4,529	0,561	0,487	34,347	82,185
SF021	0,216	450	174,3	C	32,314	76,194	4,371	7,562	996,319	5,913	1,360	0,759	40,684	103,13
SF022	0,354	480	169,4	C	25,013	67,252	4,532	6,987	724,143	4,803	0,592	0,188	33,076	107,15
SF023	0,271	450	166	C	47,515	65,162	4,783	7,453	840,045	4,886	0,415	0,672	28,223	111,76
SF024	0,355	480	167,5	C	9,926	78,552	4,390	6,941	825,012	3,960	0,466	0,767	37,671	110,38
SF025	0,357	480	172,7	C	17,429	55,446	3,466	9,355	620,613	3,614	0,312	0,316	30,612	86,083
SF026	0,355	500	170,6	C	13,971	88,528	4,471	5,867	743,258	2,726	0,434	0,889	21,549	106,60
SF027	0,106	460	164,9	C	47,452	41,368	3,211	10,186	573,372	3,389	0,694	1,347	27,520	79,824
SF029	0,354	520	171	C	9,223	93,579	3,080	6,127	862,941	3,475	0,346	0,683	33,420	103,03

C: Calheta

CTM: Média do comprimento total

P: Parcel

(1): massa utilizada para a digestão

(2) biomassa total da amostra composta

Apêndice G – Dados brutos das aves

	Sp	T e c	Massa (g)	Al (mg kg ⁻¹)	As (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Se (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
Pa33M	<i>P. arminjoniana</i>	M	0,407	4,962	8,737	0,036	1,429	72,647	0,267	0,097	0,156	2,514	27,605
Ave004M	<i>P. arminjoniana</i>	M	0,415	4,634	5,013	0,004	2,861	72,181	0,417	0,141	0,215	2,460	18,697
Pa31M	<i>P. arminjoniana</i>	M	0,361	72,004	22,143	0,087	1,838	293,801	2,725	0,719	0,557	3,146	49,305
Pa32M	<i>P. arminjoniana</i>	M	0,384	4,892	8,591	0,000	2,120	43,526	0,403	0,129	0,380	2,983	48,951
Ave001M	<i>P. arminjoniana</i>	M	0,363	20,642	31,542	0,031	8,075	711,163	6,361	2,613	4,580	7,894	54,940
OF34M	<i>O. fuscatus</i>	M	0,353	11,671	1,421	1,461	5,134	193,597	1,359	0,609	0,343	5,069	23,199
Ave002M	<i>A. stolidus</i>	M	0,376	44,997	24,793 3	0,0992 25	33,532 6	707,127	1,7312 2	0,3974 49	1,616 08	58,293 5	183,027
Pa33F	<i>P. arminjoniana</i>	F	0,388	4,756	6,970	0,429	8,499	586,397	1,813	0,207	0,351	6,331	68,093
Ave004F	<i>P. arminjoniana</i>	F	0,362	7,260	16,827	1,190	26,601	925,345	3,354	0,198	0,652	26,347	165,037
Pa31F	<i>P. arminjoniana</i>	F	0,368	5,201	39,408	2,699	16,692	1250,540	3,068	0,224	0,768	15,596	121,113
Pa32F	<i>P. arminjoniana</i>	F	0,394	5,037	8,971	1,580	4,590	271,094	3,046	0,174	0,322	8,967	106,801
Ave001F	<i>P. arminjoniana</i>	F	0,370	7,581	14,237	2,256	199,15 3	4354,930	8,762	0,247	0,404	26,177	228,003
OF34F	<i>O. fuscatus</i>	F	0,353	5,285	3,553	24,767	10,624	780,663	8,514	0,192	0,729	21,698	111,849
Ave002F	<i>A. stolidus</i>	F	0,376	7,064	32,614	1,024	12,114	2034,000	7,403	0,133	0,402	32,890	147,614

F: fígado

M: Músculo

sp: espécie

Tec: Tecido