



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**CÍNTIA SOUZA DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DO GRAU DE CONTAMINAÇÃO POR TRAÇOS METÁLICOS DAS  
ÁGUAS, SEDIMENTOS E DOS CAMARÕES CAPTURADOS NAS LAGOAS DO  
IMARUÍ E MIRIM NO COMPLEXO LAGUNAR**



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS AMBIENTAIS  
UNISUL/PPGCA**

Palhoça

2019

**CÍNTIA SOUZA DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DO GRAU DE CONTAMINAÇÃO POR TRAÇOS METÁLICOS DAS  
ÁGUAS, SEDIMENTOS E DOS CAMARÕES CAPTURADOS NAS LAGOAS DO  
IMARUÍ E MIRIM NO COMPLEXO LAGUNAR**

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Ciências Ambientais,  
como quesito parcial à obtenção do título  
de Mestre em Ciências Ambientais

Orientador: Dr Jair Juarez João

Palhoça  
2019

S58 Silva, Cíntia Souza da, 1979-

Avaliação de grau de contaminação por traços metálicos das águas, sedimentos e dos camarões capturados na Lagoas do Imaruí e Mirim no Complexo Lagunar / Cíntia Souza da Silva. – 2019.

73 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Pós-graduação em Ciências Ambientais, Palhoça, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Jair Juarez João.

1. Ecologia lacustre. 2. Água - Qualidade. 3. Ecologia lacustre - Efeito dos metais pesados. I. João, Jair Juarez. II. Universidade do Sul de Santa Catarina. III. Título.

CDD (21. ed.) 577.63

Ficha catalográfica elaborada por Francielli Lourenço CRB 14/1435



**UNISUL**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS -  
MESTRADO**



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS AMBIENTAIS  
UNISUL/PPGCA

**ATA Nº11/2019 DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO**

No dia vinte e cinco de julho de dois mil de dezenove, às catorze horas, na sala 120 – Bloco D, na Unidade Universitária Pedra Branca da Universidade do Sul de Santa Catarina, foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa de Dissertação de Mestrado de **Cíntia Souza da Silva**, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, de acordo com o Regimento Interno do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - PPGCA. A banca avaliadora foi composta pelos seguintes professores: - Dr. Jair Juarez João, orientador e presidente da banca; - Dra. Elisa Helena Siegel Moecke, avaliadora interna do PPGCA; - Dra. Daiana Cardoso de Oliveira, avaliadora interna do Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL); - Dr. Paulo César de Jesus, avaliador externo da Universidade Regional de Blumenau (FURB). A dissertação tem como título: **“AVALIAÇÃO DO GRAU DE CONTAMINAÇÃO POR TRAÇOS METÁLICO DA ÁGUA, SEDIMENTOS E DOS CAMARÕES BRANCO (PENAEUS SCHIMITTI) CAPTURADOS NAS LAGOAS DO IMARUÍ E MIRIM NO COMPLEXO LAGUNAR”**. Área de concentração: Tecnologia, Ambiente e Sociedade e linha de pesquisa: Tecnologia & Ambiente. Após a apresentação, a mestranda foi arguida pelos professores da banca. Feitos os questionamentos e ouvidas as explicações, a banca avaliadora emitiu o seguinte parecer:

- Aprovado
- Aprovado condicionado
- Reprovado

Obs: COM AS CORREÇÕES SUGERIDAS PELA BANCA

Nada mais havendo a tratar, foram encerrados os trabalhos e, após lida, foi a presente ata assinada pela Mestranda e pelos membros da Comissão Avaliadora.

Dr. Jair Juarez João: [Assinatura]

Dra. Elisa Helena Siegel Moecke: [Assinatura]

Dra. Daiana Cardoso de Oliveira: [Assinatura]

Dr. Paulo César de Jesus: [Assinatura]

Discente Cíntia Souza da Silva: [Assinatura]

## **AGRADECIMENTOS**

Meu agradecimento a instituição e especial as pessoas que compartilharam comigo essa jornada em algum momento da pesquisa. Elas são:

À Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais;

Aos meus familiares que apoiaram e entenderam a importância desse estudo tanto no crescimento pessoal e profissional;

Ao meu estimado orientador Prof. Jair Juarez João, por ter acreditado no meu potencial de encarar essa pesquisa. Minha eterna admiração e respeito por sua paixão pela química e principalmente seu orgulho de ver seus alunos e ex-alunos decolando profissionalmente.

Ao meu gestor Prof. Celso Albuquerque Lopes Junior e meus colegas do Centec, Joice da Silva e Vicente Fernandes por me auxiliarem nessa trajetória, mas, especialmente ao Elias Pedroso, que além de orientar os estagiários no laboratório, também realizou as análises dos metais pesados na absorção atômica;

A bibliotecária Gislaine, sempre disposta a ajudar nas dúvidas na formatação.

Aos meus queridos ex-estagiários: Nathália Rockenbach, Sabrina Sayuri, que me ajudaram na realização das análises (descascar camarões), como também na minha ausência no laboratório, e o “bendito entre as mulheres”, Vitor Hugo Campos, que tem me ajudado demais nos resultados desta pesquisa. Por fim, as atuais Anna Luísa Lopes, Bárbara Menegaz e Thaís de Souza, nessa fase final da escrita;

Aos colegas de jornada André Francisco, Audrey Amorin, Renata Goulart, Thábata Cândido e Tuane Emerick, pelos momentos inesquecíveis, com angústias, mas muitas risadas, coxinhas, bolos, cafés durante as viagens para as aulas do mestrado. Parece que foi pouco tempo, mas por tanto tempo. Obrigada pela amizade;

Aos pescadores Jairo Vilmar Duarte e Odair Preve (Bitola) que ajudaram na coleta das amostras de água e sedimentos, e gentilmente nos cederam os camarões.

## RESUMO

O complexo Lagunar é formado por oito lagoas: Lagoa da Garopaba do Sul, da Manteiga, do Camacho, Santa Marta, Ribeirão Grande, Santo Antônio, Imaruí e Mirim. Uma das atividades principais nestas lagoas é a pesca do camarão com rede de aviãozinho, especialmente nas lagoas Imaruí e Mirim. O principal afluente que desemboca nestas lagoas é o rio Tubarão, que drenam regiões de mineração com longas áreas de extração e depósitos de rejeitos do beneficiamento do carvão. Em consequência da drenagem ocorre migração de metais pesados para as lagoas, onde são capturados os pescados (camarões, peixes e siri) para fins comerciais. Diante desse cenário, o objetivo principal do trabalho foi realizar uma avaliação integrada do grau de contaminação por traços metálicos da água, sedimentos e dos camarões branco (*penaeus schimitti*) capturados nas lagoas do Imaruí e Mirim no Complexo Lagunar, visto que a toxicidade por metais na água pode oferecer implicações importantes no ecossistema aquático e na saúde pública. Uma vez por mês foram realizadas as coletas nas lagoas do Imaruí e Mirim, de novembro de 2017 a maio de 2018, e realizadas análises físico-químicas e de traços de metais na água, sedimentos e nos camarões capturados nas duas lagoas. Os resultados obtidos mostraram que as águas da lagoa do Imaruí e Mirim podem ser classificadas como águas salobras classe 1. Além disso, todos os pontos de coleta apresentaram qualidade da água BOA/ÓTIMA, com valores médios para IQA de 78,83 para lagoa do Imaruí e 78,14 para lagoa do Mirim. Também foram obtidos valores para demanda bioquímica de oxigênio ( $DBO > 5 \text{ mg O}_2/\text{L}$ ) abaixo de  $3 \text{ mg L}^{-1}$ , OD acima  $5 \text{ mg L}^{-1}$  e não foram detectados presença de substâncias que produzem cor, odor, turbidez e materiais flutuantes nas duas lagoas. Todos os metais analisados na água apresentaram concentrações abaixo dos limites máximos permitidos pela legislação. As análises dos metais essenciais e não essenciais, mostraram que os valores mais expressivos foram obtidos nos sedimentos e, posteriormente, nas carapaças e nos músculos dos camarões. O teste de Tukey evidenciou que a distribuição dos metais não se difere ao longo das amostragens, mas quando comparados os resultados obtidos da água, músculos e carapaças dos camarões com os resultados obtidos para os sedimentos a diferença é significativa. Nos sedimentos e nas carapaças dos camarões, foram observadas maiores concentrações de metais pesados, independentemente da lagoa, principalmente de alumínio e ferro. As concentrações dos metais essenciais foram significativas nos músculos dos camarões capturados nas duas lagoas. As concentrações médias de ferro obtidas para os músculos dos camarões capturados na lagoa do Imaruí foi  $114,91 \text{ mg.kg}^{-1}$ , zinco  $54,64 \text{ mg.kg}^{-1}$ , cobre  $49,69 \text{ mg.kg}^{-1}$  e manganês  $6,99 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Para lagoa do Mirim os resultados foram muito semelhantes, onde a concentração média para o ferro foi  $102,64 \text{ mg.kg}^{-1}$ , zinco  $57,70 \text{ mg.kg}^{-1}$ , cobre  $45,36 \text{ mg.kg}^{-1}$  e manganês  $7,60 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Entretanto, para os metais não essenciais, os valores observados foram menos expressivos. Para lagoa do Imaruí as concentrações médias obtidas para o cádmio foi  $0,19 \text{ mg.kg}^{-1}$ , arsênio  $1,55 \text{ mg.kg}^{-1}$ , chumbo  $0,89 \text{ mg.kg}^{-1}$  e crômio  $2,44 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Para lagoa do Mirim as concentrações médias observadas foram levemente maiores para todos os metais analisados, onde a concentração média obtida para o cádmio foi  $0,21 \text{ mg.kg}^{-1}$ , arsênio  $2,12 \text{ mg.kg}^{-1}$ , chumbo  $1,17 \text{ mg.kg}^{-1}$  e crômio  $4,11 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Finalmente, tanto para os camarões capturados na lagoa do Imaruí como na lagoa do Mirim, foram encontradas concentrações de metais nos músculos abaixo dos limites máximos permitido pela legislação para arsênio, cádmio e mercúrio, exceto para chumbo no mês de novembro de 2017, com concentração  $1,02 \text{ mg.Kg}^{-1}$  na lagoa do Imaruí e  $0,52 \text{ mg.Kg}^{-1}$  na lagoa do Mirim, sendo que o limite estabelecido pela legislação é  $0,50 \text{ mg.Kg}^{-1}$ .

Palavras-chave: Índice de qualidade da água, Sistema Estuarino de Laguna, metais pesados.

## ABSTRACT

The Lagunar complex is formed by eight lagoons: Lagoa da Garopaba do Sul, Manteiga, Camacho, Santa Marta, Ribeirão Grande, Santo Antônio, Imaruí and Mirim. One of the main activities in these lagoons is the shrimp fishing with net or trawl net, especially in the lagoons Imaruí and Mirim. The main tributary that flows into these lagoons is the Tubarão River, which drains mining regions with long extraction areas and tailings deposits from coal beneficiation. As a consequence of the drainage, migration of heavy metals to the lagoons, where the fish (prawns, fish and crab) are captured for commercial purposes. The objective of this work was to evaluate the degree of contamination by metallic traces of water, sediments and white prawns (*penaeus schimitti*) captured in lagoons of Imaruí and Mirim in the Lagunar complex, as water toxicity can have important implications for the aquatic ecosystem and public health. Monthly collections were carried out in the Imaruí and Mirim lagoons, from November 2017 to May 2018, and physical-chemical analyzes and trace elements of metals in the water, sediments and shrimp captured in the two lagoons were carried out. The results showed that the waters of Imaruí and Mirim lagoons can be classified as brackish class 1. In addition, all collection points presented GOOD/EXCELLENT water quality, with mean values for IQA of 78.83 for Imaruí lagoon and 78.14 for Mirim lagoon. It was also observed values for total biochemical oxygen demand (BOD >5 mg O<sub>2</sub>/L) below 3 mg.L<sup>-1</sup>, OD above 5 mg.L<sup>-1</sup> and no presence of substances that produce color, odor, turbidity and floating materials were observed in the two lagoons. All metals analyzed in the water had concentrations below the maximum limits allowed by the legislation. The analyzes of the essential and non-essential metals showed that the most expressive values were obtained in the sediments, later in the shells and in the muscles of the shrimp. The Tukey test showed that the distribution of the metals does not differ along the samplings, but when compared the results obtained from the water, muscles and shells of the shrimp with the results obtained for the sediments the difference is significant. In sediments and shrimp shells, higher concentrations of heavy metals were observed, independently of the lagoon, mainly aluminum and iron. The concentrations of the essential metals were significant in the muscles of the shrimp caught in the two lagoons. The mean concentrations of iron obtained for the muscles of the shrimp caught in the Imaruí lagoon were 114.91 mg.kg<sup>-1</sup>, zinc 54.64 mg.kg<sup>-1</sup>, copper 49.69 mg.kg<sup>-1</sup> and manganese 6.99 mg.kg<sup>-1</sup>. For the Mirim lagoon the results were very similar, where for iron the average concentration was 102.64 mg.kg<sup>-1</sup>, zinc 57.70 mg.kg<sup>-1</sup>, copper 45.36 mg.kg<sup>-1</sup> and manganese 7, 60 mg.kg<sup>-1</sup>. However, for non-essential metals, the values observed were less expressive. For Imaruí lagoon the mean concentrations obtained for cadmium were 0.19 mg.kg<sup>-1</sup>, arsenic 1.55 mg.kg<sup>-1</sup>, lead 0.89 mg.kg<sup>-1</sup> and chromium 2.44 mg.kg<sup>-1</sup>. For the Mirim lagoon the mean concentrations observed were slightly higher for all the metals analyzed, where the average concentration for cadmium was 0.21 mg.kg<sup>-1</sup>, arsenic 2.12 mg.kg<sup>-1</sup>, lead 1.17 mg.kg<sup>-1</sup> e chromium 4.11 mg.kg<sup>-1</sup>. Finally, for both the shrimp caught in the Imaruí lagoon and the Mirim lagoon, concentrations of metals in the muscles below the maximum limits allowed by arsenic, cadmium and mercury legislation were found, except for lead in November 2017, with concentration 1.02 mg.Kg<sup>-1</sup> in the Imaruí lagoon and 0.52 mg.Kg<sup>-1</sup> in the Mirim lagoon, and the limit established by the legislation is 0.50 mg.Kg<sup>-1</sup>.

Key words: Water quality index, Laguna Estuarine System, heavy metals.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>10</b>
2.1	OBJETIVO GERAL	10
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>11</b>
3.1	CONTAMINAÇÕES EM AMBIENTES MARINHOS	11
<b>3.1.1</b>	<b>Metais pesados</b>	<b>11</b>
3.2	ÍNDICE DA QUALIDADE DA ÁGUA	15
<b>4</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>20</b>
5.1	COLETA DAS AMOSTRAS	20
5.2	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE SEDIMENTOS E DO CAMARÃO	21
<b>5.2.1</b>	<b>Preparação das amostras de sedimento</b>	<b>21</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Preparação das amostras de camarões</b>	<b>21</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Digestão</b>	<b>22</b>
5.3	ANÁLISES DA ÁGUA	23
5.4	DADOS E ANÁLISES ESTATÍSTICA	25
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>25</b>
6.1	CONCENTRAÇÕES DE METAIS ESSENCIAIS E NÃO ESSENCIAIS	35
6.2	SEDIMENTOS	36
6.3	Metais em camarão: Carapaças e músculos	41
6.4	ANÁLISE DOS METAIS EM ESCALA TEMPORAL	44
<b>6.4.1</b>	<b>Metais essenciais</b>	<b>45</b>
<b>6.4.2</b>	<b>Metais não essenciais</b>	<b>53</b>
<b>6.4.3</b>	<b>Metais não essenciais: Aspecto de consumo humano</b>	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>64</b>
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	66

## 1 INTRODUÇÃO

Muitas pessoas têm a pesca como sua principal ou única fonte de proteínas, e mais de 95% dessas pessoas vivem em países em desenvolvimento, sendo que a maioria é composta por pescadores artesanais ou em pequena escala. Além disso, mais da metade da população mundial vive em zonas costeiras e espera-se que este número passa ascender a três quartos até o ano de 2020 (CABRINI, *et al.* 2017).

Desde a revolução industrial, vem ocorrendo um forte aumento na intensidade das atividades humanas (LIMA, M. C. *et al.*, 2001). O desenvolvimento industrial e urbanização estão provocando uma série de mudanças ambientais, tais como poluição da água, eutrofização, degradação das funções ecológicas e o desequilíbrio do ecossistema tem aumentado gradativamente na costa marítima (QU, B. *et al.*, 2018).

Especialmente em países em desenvolvimento, as atividades antropogênicas nas regiões costeiras vem agredindo o meio ambiente de forma gradativa (CABRINI, *et al.* 2017; BALTAS, H.; KIRIS, E.; SIRIN, M., 2017; SHAKOURI, A.; GHEYTASI, H. 2018; KESHAVARZI, B. *et al.*, 2018; SARKAR, S.K., 2018). Além disso, o desenvolvimento industrial, o crescimento da mineração, o uso indiscriminado de fungicidas e inseticidas na agricultura e o descaso em relação ao esgoto e lixo doméstico propiciaram a contaminação de diversos ambientes aquáticos, especialmente os estuários que são corpos de água costeira semifechados, tendo uma livre conexão com o mar aberto e dentro do qual a água do mar é diluída com a água doce proveniente da drenagem terrestre.

É importante mencionar que os metais pesados sempre estiveram presentes na água do mar, estuários e nos sedimentos, dos quais foram concentrados durante a sua passagem pela cadeia alimentar marinha (BALTAS, H.; KIRIS, E.; SIRIN, M., 2017).

De acordo com os autores Fakhri, *et al.* (2018); Baki, A. M. *et al* (2016) e Sarkar, T. *et al.* (2016), frutos do mar (mexilhões, ostras, peixes, camarões, caranguejos) são alimentos completos, com alta concentração de proteína, minerais essenciais, vitamina D, vitamina B3, zinco, ácidos graxos poli-insaturados, como ômega 3, ômega 6, essenciais para a saúde humana.

É importante salientar que com o crescimento do consumo mundial de frutos do mar, aumentaram as preocupações com o grau de contaminação dos pescados, com o bem-estar e a saúde da população.

Nas lagoas Imaruí e Mirim, são praticados a pesca artesanal de camarões, com a utilização de redes de aviãozinho. Esses crustáceos se criam nas lagoas que apresentam um grau mínimo de salinidade trazida pela água do oceano. Entrando na lagoa no estágio larval, permanece nesse ambiente até se tornar adulto, quando retorna ao oceano para desovar, dando origem às novas larvas. Embora tenha sido a principal espécie geradora de renda no passado, o excesso de esforço de captura (sobre pesca) e problemas ambientais afetaram a estabilidade desse recurso, gerando oscilações na produção e reduzindo a sua importância econômica.

Os pescadores das Lagoas do Mirim e Imaruí, relatam que o período de defeso estabelecido para essas lagoas, de quinze de julho a quinze de novembro, não inclui as embarcações industriais oceânicas. Assim, em anos chuvosos, os camarões têm saído da lagoa antes da abertura da pesca, sendo capturados pelos barcos industriais (oceânicos) perto da barra, no município de Laguna, o que diminui a produção de camarões nas lagoas. Além disso, existem dificuldades para estabelecer o controle antrópico sobre os recursos aquático, com contaminação proveniente das atividades da rizicultura, extração e beneficiamento do carvão e efluentes industriais e domésticos etc. As lagoas do estuário de Laguna vêm sofrendo uma forte pressão ambiental, devido à crescente urbanização dos municípios da região de Laguna, crescimento e diversificação das atividades industriais e portuárias, e a poluição dos rios que desaguam nas lagoas.

Diante desse cenário, foram coletados água, sedimentos e camarões capturados nas lagoas do Imaruí e Mirim, e feito a determinação das concentrações de metais com distribuição espacial e variabilidade temporal dos elementos traços dos metais principais (Cu, Pb, Cd, As, Hg, Cr e Zn) e majoritários (Al, Fe, Mn) na água, nos sedimentos e nos camarões. Essas análises poderão ser utilizadas para identificar áreas críticas e avaliar a contaminação de organismo vivos, assim como o grau de poluição ambiental. Além disso, crustáceos como camarões têm sido amplamente utilizados como indicadores biológicos de poluição costeira, e na avaliação da influência de metais no ambiente marinho, pois apresentam potencial para serem utilizados como sentinelas, uma vez que podem acumular metais por absorção através das brânquias ou por consumo de sedimentos e detritos

contaminados. Adicionalmente, informações de concentrações de metais em seus tecidos são potencialmente úteis considerando sua toxicidade e a saúde pública, tendo em vista seu amplo consumo pela população (GARCIA, G. J.; NIENCHESKI, H. L.F, 2012).

Frente a esta multiplicidade de fatores de problemas ambientais, sabe-se apenas que as características físicas e químicas da água e/ou sedimentos, não são suficientes para atender aos seus usos múltiplos, sendo particularmente deficientes na avaliação toxicológicas das espécies aquáticas vivas, como por exemplos os crustáceos (camarões). Para uma avaliação confiável da toxidade do camarão em seus diversos aspectos e fases da vida, faz-se necessário o desenvolvimento e a aplicação de metodologias que venham a integrar as informações físicas, químicas e biológicas da água, sedimentos e das espécies vivas. Como os organismos vivos e o seu ambiente estão inter-relacionados (inseparável), uma metodologia integrada de avaliação do grau de contaminação da água, sedimentos e dos organismos vivos seria importante e necessário para ser estudados nas lagoas do Complexo Lagunar.

Diante do exposto, o presente estudo propõe fazer uma avaliação integrada do grau de contaminação por traços metais na água, sedimentos e nos camarões capturados nas lagoas do complexo lagunar, especialmente nas lagoas do Imaruí (Imaruí) e do Mirim (Imbituba).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Este estudo tem como objetivo geral fazer uma avaliação integrada do grau de contaminação da água, sedimentos e dos camarões capturados nas lagoas do complexo lagunar, lagoas do Imaruí (Imaruí) e do Mirim (Imbituba).

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a distribuição espacial das concentrações de nitrogênio total, fósforo total, demanda bioquímica de oxigênio (DBO5), demanda química de oxigênio (DQO), coliformes totais e fecais, pH, condutividade, salinidade, sólidos sedimentares e oxigênio dissolvido na água das lagoas do Complexo Lagunar;
- Determinar a distribuição espacial e variabilidade temporal das concentrações de elementos traços dos metais principais (Cu, Pb, Cd, As, Hg, Ni, Cr e Zn) e majoritários (Al, Fe, Mn) na água e nos sedimentos das lagoas do Complexo Lagunar, Imaruí e Mirim;
- Determinar a distribuição espacial e temporal das concentrações de elementos traços (As, Hg, Cd, Cu, Pb, Cr e Zn) e majoritários (Al, Fe, Mn) no músculo e no exoesqueleto dos camarões capturados nas lagoas do Imaruí e Mirim;
- Avaliar o índice da qualidade da água para as lagoas do Imaruí e Mirim.
- Tratar de forma integrada os dados químicos, físico-químicos através das análises estatísticas.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 CONTAMINAÇÕES EM AMBIENTES MARINHOS

##### 3.1.1 Metais pesados

Os metais pesados em sistema marinho é um problema global, uma vez que a exposição contínua nos organismos marinhos em baixas concentrações pode resultar em bioacumulação e, conseqüentemente, transferindo para o homem através da cadeia alimentar. Os organismos marinhos podem acumular metais pesados por diversos caminhos, incluindo respiração, adsorção e ingestão (MAKEDONSKI, L.; PEYCHEVA, K.; STANCHEVA, M. 2017), influenciando também significativamente o ambiente, ameaçando a segurança ecológica marinha e os recursos aquáticos vivos (QU, B. *et al.*, 2018; ZHANG, Y. *et al.*; 2017; BONSIGNORE, M. *et al.*; 2018; IRIZUKI, T. *et al.*; 2018). Por sua persistência, toxicidade e não degradabilidade no ambiente, os metais pesados são caracterizados poluente mortais (WANG, X. *et al.*; 2018).

Sabe-se que a liberação de traços de metais para o ambiente ocorre através de processos naturais ao longo do tempo geológico e, assim, os organismos são adaptados a essas condições. Entretanto, os processos determinados pelo homem ocorrem em uma escala de tempo reduzida com intensidade muito elevada, impedindo a adaptação do ecossistema (CAMPOS, R. C. *et al.*; 2017). Neste sentido, os metais são preocupantes pela sua persistência no ambiente hídrico, tendendo a se concentrar nos organismos vivos (GARCIA, G. J.; N. H. L.F.; 2012).

As águas costeiras contêm praticamente todos os elementos estáveis, não reativos, tendo, alguns deles, concentrações extremamente baixas, sendo que esses elementos podem ocorrer nas formas dissolvidas ou particuladas. Existem alguns metais que tem uma função definida nos ecossistemas marinhos, atuando, como micronutrientes como: cobre, ferro, manganês e zinco. Entretanto, outros metais como mercúrio, cádmio, cromo, chumbo e o arsênio pode transformar-se em metal metálico persistente (CAMPOS, R. C. *et al.*; 2017), onde mesmo em concentrações muito baixas, podem representar uma ameaça por serem potencialmente tóxico.

Todos os metais presentes em ambiente aquáticos são absorvidos por organismos marinhos, que se acumulam constantemente e são transferidos ao longo da cadeia alimentar, ameaçando a segurança ecológica marinha e recursos biológicos e até à saúde humana (LI, Y; LIN, Y; WANG, L., 2018). Assim, os metais são importantes fontes de poluição da água e tem sido considerado contaminantes críticos em ecossistemas aquáticos por sua toxicidade, persistência, não degradabilidade e características de bioacumulação (ZHANG, Y. *et al.* 2017).

Devido a sua adsorção, hidrólise e precipitação, somente uma pequena parte dos íons de metálicos permanecem dissolvidos na água, enquanto uma grande parte se deposita nos sedimentos (BONSIGNORE, M. *et al.*, 2018). Os sedimentos marinhos são originários de ambos geogênicos (físicos e químicos com intemperismo de rochas-mãe), composta de detritos, inorgânicos e orgânicos, relativamente heterogêneo em termos de suas propriedades físico-químicas e características biológicas (SARKAR, S.K., 2018) e fontes antropogênicas (ANBUSELVAN N.; SENTHIL NATHAN D.; SRIDHARAN M., 2018). O Li, Y; Lin, Y; Wang, L. (2018).

Os metais pesados descarregados no mar são principalmente adsorvidos em partículas finas de matéria orgânica (incluindo organismos marinhos), migrando gradualmente para sedimentos do fundo do mar.

Os sedimentos em ecossistemas costeiros e estuarinos, são como um reservatório ou “pia” para metais pesados, e pode atuar com uma fonte de metais pesados para organismos aquáticos, devido a capacidade de segurar mais de 90% dos metais no meio aquático quando as condições ambientais são alteradas (SARKAR, 2018). Os sedimentos acumulam a níveis mais altos de traços de metais do que a água (CHENG *et al.*, 2013).

Em ambientes aquáticos, os sedimentos podem desempenhar um papel importante na deposição e transmissão de metais (LU, J. LI, A.; HUANG, P., 2017). Portanto, analisar as características geoquímicas das concentrações dos elementos nos sedimentos próximos da costa e suas distribuições pode revelar mudanças no ambiente aquoso e na história da atividade humana local (BI, S.; *et al.*, 2017).

Em muitos países, o pescado é considerado como a primeira fonte de alimento. Portanto, a bioacumulação de metais em frutos do mar através da contaminação da água e dos sedimentos, são utilizados como indicadores

biológicos dos ambientes aquáticos. Estudos indicam que, peixes e camarões são bons indicadores para avaliar a contaminação da água por compostos tóxicos (FAKHRI *et al.*, 2018).

Exemplo a ser mencionado sobre a contaminação de traços de metais na vida marinha, são os caranguejos azuis da Nova Inglaterra. Acredita-se que os caranguejos azuis exercem grande influência sobre o destino do mercúrio (Hg) em habitats estuarinos e costeiros. Além disso, dado o seu valor comercial e recreativo, os caranguejos azuis podem ser uma importante fonte de contaminação por mercúrio para consumidores humanos (TAYLOR, D. L.; CALABRESE, N. M., 2018).

Outro dado interessante é que na fase juvenil a contaminação por metais interfere na fisiologia, crescimento e na saúde dos peixes que se desenvolvem nos lagos e lagoas (BOUCHOUCHA *et al.*, 2018).

Entretanto, os crustáceos são onívoros ou carniceiros e tendem a ingerir mais contaminantes através da cadeia alimentar e detritos de crustáceos, como caranguejos e camarão, são organismos bênticos que residem acima ou no sedimento. As pernas dos crustáceos são frequentemente enterradas nos sedimentos superficiais e frequentemente agitam o sedimento, o que resulta em maior absorção de metais de sedimento e suscetível sedimentar por possuir altos níveis de metal (LIU, Q.; LIAO, Y.; SHOU, L., 2018).

A alimentação ou a exposição prolongada com metais pesados por seres humanos tem sido implicada em causas intelectuais, desenvolvimento de deficiências (XIA, F. *et al.*, 2018). Para Bonsignore, M. *et al.*, 2018), os metais pesados acumulados nos tecidos gordurosos dos organismos podem afetar o sistema digestivo, cardiovascular e o sistema nervoso central. Além disso, efeitos carcinogênicos em organismos vivos também são observados. Portanto, concentrações de metais pesados em organismos marinhos comerciais em áreas poluídas devem ser monitorados quanto à segurança e seu potencial risco de saúde para os consumidores (LIU, Q.; LIAO, Y.; SHOU, L. 2018).

Do ponto de vista de biológico, os metais podem ser classificados em essenciais e não essenciais. Os metais não essenciais não desempenham papel decisivo no metabolismo, nestes incluem: níquel (Ni), cádmio (Cd), chumbo (Pb), mercúrio (Hg), manganês (Mn), cromo (Cr) e arsênio (As). Entretanto, os metais como zinco (Zn), ferro (Fe), cobre (Cu) e selênio (Se), são essenciais para metabolismo (FAKHRI *et al.*; 2018). Assim, o grau de contaminação desses

ecossistemas por metais pode colocar em risco a saúde da população que utiliza essas águas tanto para a pesca quanto para o lazer (PINTO, A.M.T.P.; HIRDES, I.M.; SANCHES FILHO, P.J., 2013).

Segundo Gao, Y. *et al.*, 2018, O US FDA (Agência Federal do Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos), indicou que o consumo de peixes e outros frutos do mar são responsáveis por 90% da exposição humana por metais pesados. Atualmente, o método mais comumente usados é a avaliação de risco à saúde humana, conforme recomendado pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA). Muitos estudos se concentram na literatura para avaliação do risco para a saúde humana com a presença de metais pesados na água, sedimentos e peixes, mas há poucas avaliações de risco à saúde de metais pesados na reserva marinha (ZHANG, Y. *et al.*, 2017).

A Doi, A.S. *et al.*, (2012), relata que nos últimos anos, vários estudos têm sido realizados para determinar a toxicidade aguda de diversos compostos químicos para muitas espécies de organismos aquáticos. Muitas espécies de crustáceos vêm sendo utilizadas em estudos de toxicidade, por serem sensíveis a presença de contaminantes.

Ainda são escassas as informações relacionadas aos seus efeitos sobre os organismos pertencentes a esse meio, principalmente no litoral brasileiro, onde várias espécies são extraídas para consumo humano (ALVES-COSTA, F.A.; COSTA, R. C., 2004).

De acordo com Friedlander, M. A., (2018), há falhas da gestão convencional dos oceanos, existe um crescente interesse em explorar novas abordagens inovadoras para a conservação dos ecossistemas marinhos e os benefícios para gerações futuras. O problema tornou-se um grande desafio (CABRINI, *et al.*, 2017), pois à medida que aumenta a necessidade por água, cresce a responsabilidade dos gestores ambientais (poder público) sobre a sustentabilidade deste recurso. Mundialmente, a qualidade da água costeira está se deteriorando devido as atividades antropogênicas (CEBE, K.; BALAS, L.; 2018), com a diminuição da produtividade nas águas costeiras (NASCIMENTO, R. J. *et al.*; 2016).

### 3.2 ÍNDICE DA QUALIDADE DA ÁGUA

Na região sul Estado de Santa Catarina, está inserida a bacia do rio Tubarão e Complexo Lagunar. As lagoas de Imaruí e Mirim, são as principais lagoas da pesca artesanal do camarão, juntamente com a Lagoa Santo Antônio. A pesca do camarão é uma das principais fontes de renda dos moradores da região.

Inúmeras são as causas que afetam a qualidade da água das lagoas. Com isso, a necessidade de manter a saúde do ecossistema depende da qualidade da água das lagoas em estudo.

Conforme a Resolução nº 357 do CONAMA, as lagoas do Imaruí e Mirim são consideradas águas salobras, o que corresponde adequada para aquicultura e a atividade de pesca.

O monitoramento de parâmetros físico-químicos é necessário para a conservação do ecossistema, pois a divergência de intervalos de dados pode afetar os organismos marinhos, como o impedimento de crescimento, mortalidade e uma redução geral nos serviços ecossistêmicos (FRANKLIN, B.J. *et al.*,2018).

A previsão e o controle da poluição das águas marinhas são essenciais, pois com implantações de programas regulares, ajuda a entender as variações temporais e espaciais na qualidade da água marinha.

## 4 ÁREA DE ESTUDO

O Complexo Lagunar Sul Catarinense é uma das maiores formações lagunares do sul do Brasil. O complexo possui uma área de 219,82 km<sup>2</sup>, e é formado por diversas lagoas costeiras ao longo de 5 municípios no sul de Santa Catarina. Além dos problemas comuns as demais áreas costeiras brasileiras, como conflitos em seu uso e ocupação, o Complexo Lagunar Sul Catarinense é caracterizado pelo aporte de ao menos ser uma bacia hidrográfica considerada poluída, a do rio Tubarão (SDM, 1997).

A Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão e Sistema Lagunar encontram-se na Região Sul do Estado de Santa Catarina e pertencem à vertente de drenagem Atlântica, fazendo limite com a vertente do interior através da Serra Geral, tendo as seguintes coordenadas geográficas como limites: 27° 48' 00" de latitude norte, 28° 48' 08" de latitude sul, 48° 38' 18" de longitude leste e 48° 31' 48" de longitude oeste. É a mais expressiva bacia hidrográfica da Região Sul de Santa Catarina; engloba 19 dos 21 municípios da região e tem uma área de aproximadamente 5923 km<sup>2</sup>. A Bacia Hidrográfica Sul Catarinense é constituída pelas bacias dos Rios Tubarão e D'Una. O Rio Tubarão passa a assim denominar-se após a confluência dos Rios Bonito e Rocinha que têm origem na encosta da Serra Geral. Ambos drenam regiões de mineração logo após suas nascentes, onde ocorrem extensas áreas de extração e depósitos de rejeitos do beneficiamento do carvão. O Rio Tubarão (Figura 1) percorre uma distância de 120 km, desembocando na Lagoa de Santo Antônio dos Anjos, no município de Laguna, local de intensa atividade pesqueira e turística. As principais fontes poluidoras da região são: efluentes de resíduos de mineração e beneficiamento do carvão, feculárias, vinícolas, olarias, cerâmicas, suinocultura, indústrias alimentícias, termelétrica, extração de fluorita, além de esgotos domésticos. Notadamente, os rejeitos da extração do carvão e seu beneficiamento contribuem para o comprometimento das águas do Rio Tubarão em quase toda sua extensão (LIMA, M. C. *et al.*, 2001).

Em consequência da drenagem ácida ocorre migração de metais para as lagoas onde são capturados os pescados para fins comerciais. Os íons metálicos dissolvidos no substrato (As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Al, Cr, Mn, Mg, entre outros), que em concentrações elevadas pode provocar contaminação e estresse nos pescados, especialmente nos camarões.

Nos últimos anos os metais pesados têm afetado os organismos vivos, devido a sua contínua mobilização antropogênica no ambiente, causando uma preocupação mundial. Os poluentes em geral que entram nas águas costeiras, ocasionam graves prejuízos para a vida e atividades marinhas. Devido à complexidade do ecossistema marinho, os altos níveis de poluentes são decisivos para as mudanças ao longo do tempo (FERREIRA; HORTA; CUNHA, 2010).

Figura 1 - Localização do sistema estuarino de Laguna, sul do Brasil, identificando as Lagoas do Mirim, Imaruí e Santo Antônio dos Anjos



Fonte: Colonese et al, 2017.

Os pescadores artesanais do Sistema Estuarino de Laguna possuem sua história ligadas a exploração do camarão. Por um período do século XX (até a década de 70), a pesca do camarão foi realizada com tarrafas, fazendo com que os pescadores adquirissem conhecimentos dos ciclos climáticos e das espécies capturadas. E a partir dos anos 80, com a chegada do aviãozinho, modificou a relação do pescador com o recurso e o ambiente. Por ser um tipo de pesca mais

prática, o aviãozinho não exige tanta habilidade, diferente da tarrafa que, o pescador precisa ficar mais tempo na água da lagoa. Mas, tem suas vantagens, por garantir baixo impacto a fauna local inclusive para o próprio camarão, diferente do aviãozinho que causa um impacto maior a fauna. O aviãozinho (Figura 2) é uma arte de pesca passiva utilizada em fundos rasos (menos de 2 metros), ou seja, é fixo em um ponto e a captura só ocorre porque o recurso alvo vem até o seu encontro. Para que ocorra essa atração o aviãozinho dispõe de um atrativo luminoso, que, atualmente, é composto por um sistema de bateria elétrica e lâmpada de LED fixados em uma estaca de bambu, conforme pode ser visualizado nas Figuras 2 e 3. (SUNYE, Patrícia Sfair *et al.*, 2014).

Figura 2 - Rede aviãozinho



Fonte: Autora, 2019.

Figura 3 - Bateria usadas pelos pescadores



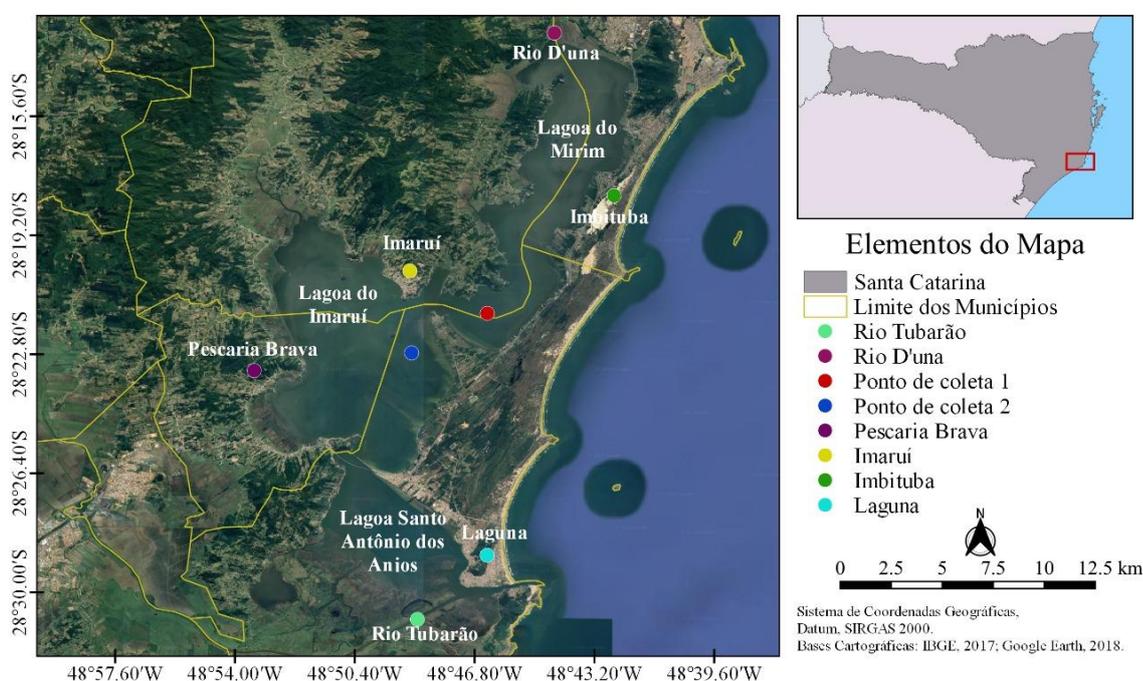
Fonte: pescadores, 2019.

Frente a esta multiplicidade de fatores de problemas ambientais, relacionados a pesca de aviãozinho, faz-se necessário uma avaliação espacial e temporal mais confiável referente a toxidade das águas, sedimentos e dos camarões das lagoas do Complexo Lagunar.

## 5 METODOLOGIA

As coletas foram realizadas na lagoa do Imaruí, município de Imaruí e na lagoa do Mirim, município de Imbituba (Figura 4). Foram realizadas amostragens em 02 (dois) pontos. A definição exata dos locais de amostragens na Lagoa do Mirim foi: 28°21'58" S 48°46'43" O e os locais de amostragens na Lagoa do Imaruí foi: 28°22'18" S 48°48'40" O determinada por uma amostragem-piloto ao longo do mês de novembro de 2017, mapeados por GPS.

Figura 4 - Localização do sistema estuarino de Laguna, sul do Brasil, identificando as lagoas do Mirim, Imaruí.



Fonte: Autora, 2019.

### 5.1 COLETA DAS AMOSTRAS

As amostras foram coletadas mensalmente nas duas lagoas durante o período em que a pesca estava aberta, iniciando em novembro de 2017 a abril de 2018, conforme o período estabelecido pelo governo federal em 2005 (Instrução Normativa MMA nº 25, de 8 de junho de 2005). Foram coletados 5L de águas,

aproximadamente 1kg de sedimento e 0,5 kg de camarões filhotes, juvenis e adultos de acordo com as recomendações das normas NBR 9897 e NBR 9898/87.

Na água coletada para análise dos metais, foi adicionado no local da coleta ácido nítrico ao recipiente de polietileno, suficiente para se obter pH igual a 1. Após a coleta, as amostras de água foram filtradas em filtros de membrana Millipore 0,45 µm e acondicionadas em frascos de polietileno sob refrigeração (geladeira) até o momento da análise.

## 5.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE SEDIMENTOS E DO CAMARÃO

### 5.2.1 Preparação das amostras de sedimento

Após as coletas, as amostras dos sedimentos e dos camarões (músculos e cascas) foram preparadas por digestão.

Para análises dos sedimentos, as amostras foram peneiradas em malha de 200 µm e secas em estufa com circulação de ar à temperatura de 35 a 40 °C. Em seguida foram pesadas 0,3g de cada amostra em triplicata e colocadas em frasco digestor (PTFE), conforme descrito item digestão da amostra.

Após a digestão total, as amostras foram analisadas conforme os métodos descritos na literatura, *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Os metais (Cu, Fe, Al, Mn, Pb, Cd, As, Hg, Ni, Cr, Zn e outros) foram analisados por espectrômetro de absorção atômica com atomização eletrotérmica com corretor de fundo Zeeman (ZETAAS), VARIAN, modelo Spectra 220.

### 5.2.2 Preparação das amostras de camarões

Os camarões (Figura 5) foram divididos conforme seu ciclo de vida (pequeno, médio e grande), descascados e separados os exoesqueletos dos músculos. Logo após, foram submetidos a análise de umidade (secas em estufa com circulação de ar a temperatura de 35 a 40°C) em triplicata. Em seguida maceradas em gral de porcelana e acondicionadas em recipientes de polipropileno. Posteriormente, feito a digestão para realização das análises por absorção atômica em forno de grafite. Da mesma forma foi feito para digestão dos sedimentos.

Figura 5 – Os três tamanhos dos camarões (pequeno, médio e grande) analisados.



Fonte: Autora, 2017.

### 5.2.3 Digestão

A digestão foi realizada em bloco digestor adicionando a mistura de 4mL de ácido nítrico 65% e 3mL de peróxido de hidrogênio a 0,3g de amostra, sendo preparado juntamente uma amostra em branco. A digestão foi conduzida em forno de micro-ondas marca: PROVECTO ANALÍTICA, modelo: DGT 100 *Plus*, que possui a seguinte programação apresentado no quadro 1:

Quadro 1: Programação do micro-ondas utilizado na digestão das amostras.

STEP	TEMPO	POTÊNCIA
1	5 minutos	180 W
2	5 minutos	000 W
3	5 minutos	340 W
4	5 minutos	000 W
5	6 minutos	250 W

Após os 26 minutos, os blocos foram retirados do micro-ondas e deixa esfriar. Após resfriados foi acrescentado água destilada nos frascos. O conteúdo dos frascos foram transferidos para os balões volumétricos de 250mL. A solução ficou em repouso por alguns minutos, para qualquer resquício de sólido que não tenha sido digerido por completo ficasse retido no fundo do balão. A solução foi transferida para frascos de polietileno de 250mL onde estavam as descrições

específicas de cada amostra (número do laudo, massa exata e volume). Foram então, analisadas as análises de traços de metais como: (Cu, Fe, Al, Mn, Pb, Cd, As, Hg, Cr, Zn) presentes nas amostras em estudo.

### 5.3 ANÁLISES DA ÁGUA

Os procedimentos analíticos para a determinação de cada um dos indicadores químicos ou físico-químico para a água das lagoas do Complexo Lagunar (Imaruí e Mirim), foram realizadas de acordo os procedimentos do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 22 Edition. Os parâmetros analisados foram: salinidade (kit para cloretos MERCK), fósforo (kit para fósforo MERCK) DQO (soluções A e B para DQO na faixa 100 a 1500 MERCK), estas foram realizadas no Spectroquant PHARO 300. O pH foi analisado no pHmetro da marca HANNA, o nitrogênio total pelo método (Kjedahl), e presença de coliformes fecais e totais, temperatura, turbidez. Já para análise dos metais pesados (Cd, Cr, Cu, Mn, Pb, Zn, As, Fe, Al), as águas das lagoas foram preservadas com 300 microlitros de ácido nítrico PA da MERCK e analisados através de absorção atômica com atomização eletrotérmica.

A condutividade foi medida através de um condutivímetro HANNA. A DBO foi analisada por processo respirométrico – OXITOP 21°C/5 dias. Os parâmetros resíduos totais e dissolvidos, por gravimetria e os sólidos sedimentáveis por Cone Imhoff.

Os resultados das análises físico-químicas obtidos em laboratório foram utilizados para o cálculo do índice de qualidade de águas ( $IQA_{NSF}$ ), onde o nível de contaminação presente em um determinado corpo de água em termos de parâmetros físico-químicos e microbiológico (coliformes fecais) é expressa em uma escala de 0 a 100. Elaborado pela *National Sanitation Foundation* na década de 70, originalmente esse indicador foi concebido para avaliar a qualidade geral das águas dos rios não poluídos (OTT, 1978). Conceitualmente, é um número resultante de uma síntese de valores e pesos atribuídos aos vários parâmetros analisados, e fornece uma indicação relativa da qualidade da água em diferentes pontos no espaço ou tempo (ISAM, 1999). A criação desse indicador baseou-se numa pesquisa de opinião junto a especialistas em qualidade das águas que indicaram

os parâmetros a serem avaliados, o peso relativo dos mesmos e a condição com que se apresentam cada parâmetro, segundo uma escala de valores. Dos 35 parâmetros inicialmente propostos, somente nove foram selecionados: temperatura, potencial hidrogeniônico (pH), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total, oxigênio dissolvido, sólidos totais (resíduo total), fósforo total, turbidez e coliformes fecais (termotolerantes). O  $IQA_{NSF}$  é calculado pelo produto ponderado (Equação 01) das notas atribuídas a cada parâmetro de qualidade de água citado.

Equação 01 – Equação para o cálculo do produto ponderado atribuídas para cada parâmetro de qualidade de água.

$$IQA_{NSF} = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (01)$$

onde:

$q_i$ = Nota atribuída ao indicador

$w_i$ = Peso relativo do parâmetro

Na Tabela 1, é apresentado a escala utilizada para classificação da qualidade da água das lagoas Imaruí e Mirim, em função da pontuação obtida no cálculo do  $IQA_{NSF}$ .

Tabela 1 – Classificação da água segundo o  $IQA_{NSF}$ .

Valor do $IQA_{NSF}$	Classificação
80 - 100	Ótima
52 - 79	Boa
37 - 51	Aceitável
20 - 36	Ruim
0 - 19	Péssima

Para o cálculo do IQA das águas das lagoas do Imaruí e Mirim foi empregado a metodologia desenvolvida pelo professor Marcos Von Sperling da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), disponibilizado no site da editora da Universidade para livre uso em monitoramento da qualidade da água.

## 5.4 DADOS E ANÁLISES ESTATÍSTICA

Todas as análises foram conduzidas em triplicata e os dados expressos como média. Os dados foram submetidos à análise de variância ANOVA, ao nível de 5% de significância com nível de confiança igual a 95%, para comparação das médias. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando usando STATISTICA versão 7.0 (2007).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Assim como os peixes os crustáceos são considerados bons bioindicadores de metais pesados nos ecossistemas aquáticos. No presente estudo foi feita uma avaliação integrada do grau de contaminação por traços de metais na água, sedimentos e nos camarões capturados nas lagoas do Imaruí (município de Imaruí) e Mirim (município de Imituba) do complexo lagunar. Nas duas lagoas, o camarão se constitui como principal fonte de renda, embora a queda na produção dessa espécie tenha ampliado a importância da pesca do siri e dos peixes, como a savelha e a “tainhota” (juvenil da tainha).

Os resultados das análises físico-químicas e biológicas são mostrados nas Tabelas 2 e 3, e permite fazer algumas considerações em relação a qualidade das águas das lagoas do Imaruí e Mirim, conforme a legislação da resolução do CONAMA Nº 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Nesta resolução define-se que águas salobras são águas com salinidade superior a 0,5% ( $5 \text{ g L}^{-1}$ ) e inferior a 30% ( $300 \text{ g L}^{-1}$ ). Além disso, as águas salobras são classificadas em classe especial, classe 1, 2 ou 3.

De acordo com os resultados obtidos, a salinidade das águas da lagoa do Imaruí variou de  $26,9 \text{ g L}^{-1}$  de dezembro de 2017 para  $6,40 \text{ g L}^{-1}$  no mês de fevereiro de 2018. Entretanto, a salinidade na lagoa do Mirim, a variação foi inferior, onde a maior salinidade foi  $21,9 \text{ g L}^{-1}$  em dezembro de 2017 e a menor foi  $3,5 \text{ g L}^{-1}$  em abril de 2018. O valor médio ao longo dos seis meses de coleta foi  $15,67 \text{ g L}^{-1}$  para lagoa do Imaruí e  $10,30 \text{ g L}^{-1}$  para lagoa do Mirim. Estes dados mostraram que as águas

da lagoa Imaruí apresentaram salinidade média maior do que a lagoa do Mirim. Este fato pode estar relacionado com as águas do oceano que banha a lagoa do Imaruí, o que não ocorre com lagoa do Mirim. Estes valores são considerados bons e enquadram as águas das lagoas do Imaruí e Mirim como águas salobras. A caracterização físico-química durante os meses das coletas estão representados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Resultados das análises físico-químicas da lagoa Imaruí entre os meses de novembro de 2017 e abril de 2018.

<b>Parâmetros</b>	<b>Nov/17</b>	<b>Dez/17</b>	<b>Jan/18</b>	<b>Fev/18</b>	<b>Mar/18</b>	<b>Abr/18</b>
pH	7,50	7,21	7,37	7,27	7,77	8,40
Condutividade ( $\mu\text{S}^{-1}$ )	10,30	27,78	12,50	4,57	15,24	4,45
Salinidade ( $\text{g L}^{-1}$ )	14,50	26,90	13,50	6,40	17,90	14,84
OD ( $\text{mg L}^{-1}$ )	9,8	9,8	9,3	9,4	9,2	9,6
Nitrogênio ( $\text{mg L}^{-1}$ )	31,73	95,46	95,02	5,51	11,02	43,27
Fósforo ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0,06	0,09	0,03	0,07	0,04	0,05
DQO ( $\text{mg L}^{-1}$ )	420	120	350	230	104	310
DBO ( $\text{mg L}^{-1}$ )	3	2	1,2	0,00	0,00	1
Sólidos Sed. ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0,00	0,01	0,1	0,00	0,00	0,00
Sólidos totais ( $\text{g L}^{-1}$ )	25,98	18,87	8,63	8,74	10,61	7,60
Col. tot. (NMP/100 mL)	790	3500	7000	330	9200	45
Col. fec (NMP/100 mL)	25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	21	25	24	23	26	24
Turbidez (FAU)	4	5	22	5	17	7

Fonte: Autora, 2019.

Tabela 3 – Resultados das análises físico-químicas da lagoa Mirim entre os meses de novembro de 2017 e abril de 2018.

<b>Parâmetros</b>	<b>Nov/17</b>	<b>Dez/17</b>	<b>Jan/18</b>	<b>Fev/18</b>	<b>Mar/18</b>	<b>Abr/18</b>
pH	7,56	7,32	7,17	6,85	7,79	8,40
Condutividade ( $\mu\text{S}^{-1}$ )	10,44	24,46	11,75	3,88	14,07	3,51
Salinidade ( $\text{g L}^{-1}$ )	13,10	21,50	13,10	5,20	5,40	3,50
OD ( $\text{mg L}^{-1}$ )	9,8	10,0	9,6	9,9	9,8	10,0
Nitrogênio ( $\text{mg L}^{-1}$ )	20,19	95,90	95,02	0,00	5,51	37,50
Fósforo ( $\text{mg L}^{-1}$ )	<0,05	0,10	0,07	0,06	0,03	0,06
DQO ( $\text{mg L}^{-1}$ )	510	280	280	180	230	ND
DBO ( $\text{mg O}_2/\text{L}^{-1}$ )	6	12	14	0,00	1	2
Sólidos Sed. ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0,00	ND	ND	0,00	0,00	ND
Sólidos totais ( $\text{g L}^{-1}$ )	26,44	32,61	9,15	14,41	10,75	10,30
Col. tot. (NMP/100 mL)	330	3500	>160000	2400	3500	1300

Col. fec (NMP/100 mL)	0,00	ND	ND	20	0,00	ND
Temperatura (°C)	21	25	24	24	26	24
Turbidez (FAU)	11	10	6	6	24	7

Fonte: Autora, 2019.

Inicialmente foi determinado a concentração de oxigênio dissolvido (OD), visto ser um parâmetro importante e vital para os organismos aquáticos aeróbios e a sua introdução na água pode ocorrer naturalmente através do ar atmosférico e/ou pela fotossíntese. Através da determinação da concentração de OD, foi possível determinar a poluição por matéria orgânica nas águas das lagoas do Imaruí e Mirim, visto que uma água não poluída por matéria orgânica deve estar saturada de oxigênio. Por outro lado, teores baixos de oxigênio dissolvido podem indicar que ocorreu uma intensa atividade bacteriana decompondo a matéria orgânica presente na água. Através dos resultados obtidos, foi possível observar que durante os seis meses da coleta, a concentração de oxigênio dissolvido na lagoa do Imaruí variou de 9,1 a 10,9 mg L<sup>-1</sup> e na lagoa do Mirim de 9,8 a 10,5 mg L<sup>-1</sup>. Esses valores elevados de oxigênio dissolvidos podem estar associados com a oxigenação ocorrido pelo movimento das águas em função do vento nordeste constantes na região, que além de favorecer a vida aquática provocam a degradação da matéria orgânica que são lançadas na lagoa do Imaruí e Mirim.

Em função dos elevados valores de oxigênio dissolvido, as águas das duas lagoas podem ser considerada de boa qualidade para vida aquática, e corrobora com os baixos valores obtidos para demanda bioquímica de oxigênio, que variaram de 0 a 3 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> durante os meses de amostragens, exceto para os meses de dezembro e janeiro para lagoa do Mirim onde os valores para DBO foram 12,0 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> e 14,0 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>, respectivamente. Estes valores mais elevados para DBO podem estar associados com a contaminação da matéria orgânica do Rio Duna que desagua na lagoa do Mirim.

Também não foi observado presença de coliformes fecais ou termotolerantes, exceto para mês de novembro de 2017 que apresentou 25 NMP/100 mL e no mês de fevereiro de 2018 na lagoa do Mirim com 20 NMP/100 mL. Estes valores estão abaixo dos limites máximos permitidos pela legislação, e indicam que as águas da lagoa Imaruí e Mirim não estão contaminadas com esgoto sanitário e são apropriadas para pesca, recreação e o cultivo de pescados (crustáceos, peixes e moluscos) destinados a alimentação humana. É importante

mencionar que coliformes termotolerantes são bactérias gram-negativas, em forma de bacilos, e podem crescer fermentando a lactose nas temperaturas de 44° a 45°C, com produção de ácido, gás carbônico e aldeído. Além de estarem presentes em fezes humanas e de animais homeotérmicos, ocorrem em solos, plantas ou outras matrizes ambientais que não tenham sido contaminados por material fecal.

Outro dado importante é a presença de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, que possibilitam a proliferação de organismos aquáticos. O valor médio obtido para nitrogênio total para lagoa do Imaruí foi 47 mg L<sup>-1</sup>, sendo que o menor valor foi observado no mês de novembro de 2017 (31,73 mg L<sup>-1</sup>) e o maior valor em dezembro de 2018 (95,46 mg L<sup>-1</sup>). Valores semelhantes foram observados para lagoa do Mirim, onde o valor médio para nitrogênio total foi 42,35 mg L<sup>-1</sup>.

Os valores obtidos para o fósforo foram todos inferiores aos limites máximos permitidos pela Resolução do CONAMA N° 357/2005 para águas salobras classe 1, que é 0,124 mg L<sup>-1</sup>.

Na Tabela 4, são mostrados os resultados do tratamento estatístico com os valores mínimos e máximos das análises físico-químicas para água das duas lagoas. Conforme pode ser observado, os valores de *P*, não apresentaram diferença significativa ( $P < 0,05$ ) quando comparados os resultados obtidos para duas lagoas durante o período de coleta, de novembro de 2017 a abril de 2018.

Um dos parâmetros que apresentou uma diferença significativa entre os valores mínimos e máximos foi a condutividade, com valores que variaram de 4,45 para 27,8  $\mu\text{S}^{-1}$  na lagoa do Imaruí e de 3,4 para 24,5  $\mu\text{S}^{-1}$  na lagoa do Mirim. Estes valores estão relacionados com salinidade da água, onde o valor mínimo observado foi 5000 mg L<sup>-1</sup> e o máximo de 27000 mg L<sup>-1</sup> para a lagoa do Imaruí, e para lagoa do Mirim o valor mínimo foi de 3500 mg L<sup>-1</sup> e o máximo foi de 21700 mg L<sup>-1</sup>.

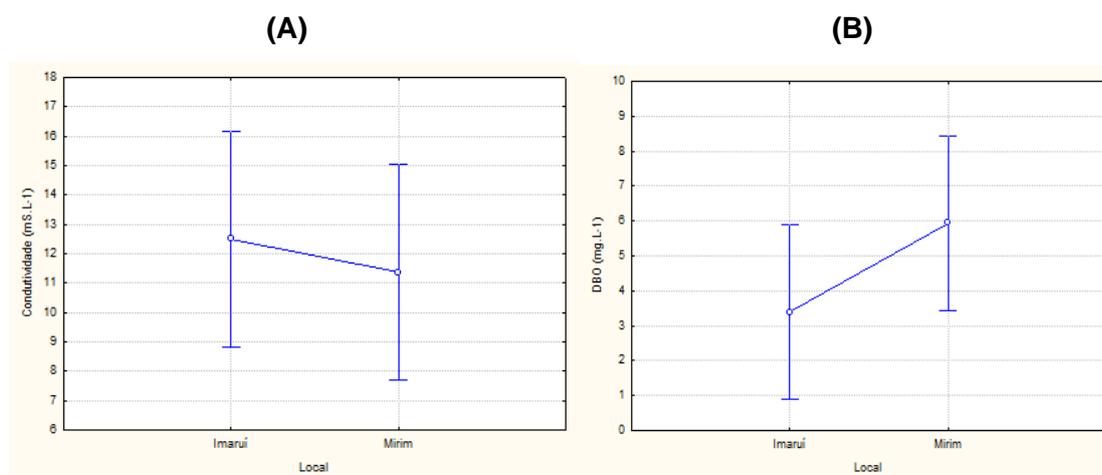
Tabela 4 – Resultados das análises físico-químicas comparando os valores mínimos e máximos das águas das lagoas do Imaruí e Mirim ( $P < 0,05$ ).

Análises	Imaruí		Análises	Mirim		Comparação Imaruí com Mirim	
	Mín.	Máx.		Mín.	Máx.		
Col. Fecais	0	25	Col. Fecais	0	25	$P > 1,0$	NS
Col. Totais	45	9300	Col. Totais	330	160000	$P > 0,96$	NS
Cond. ( $\mu\text{S}^{-1}$ )	4,45	27,8	Cond. ( $\mu\text{S}^{-1}$ )	3,4	24,5	$P > 0,66$	NS
DBO ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0	14	DBO ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0	14	$P > 0,15$	NS
DQO ( $\text{mg L}^{-1}$ )	104	420	DQO ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0	520	$P > 0,9$	NS
Fósforo ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0	9	Fósforo ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0	0,3	$P > 0,21$	NS
N Total ( $\text{mg L}^{-1}$ )	5,51	96	N Total ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0	96	$P > 0,72$	NS
pH	7,2	8,5	pH	6,85	8,5	$P > 0,64$	NS
Salinid ( $\text{mg L}^{-1}$ )	5000	27000	Salinid ( $\text{mg L}^{-1}$ )	3500	21700	$P > 0,12$	NS
Sol. Tot ( $\text{mg L}^{-1}$ )	7601	25980	Sol. Tot ( $\text{mg L}^{-1}$ )	914,5	32613,3	$P > 0,16$	NS

\*NS – diferença não significativa

Na Figura 6, podemos observar o comportamento da variação dos níveis das concentrações referente a condutividade e da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) entre as águas das lagoas do Imaruí e Mirim. De acordo com os gráficos A e B, podemos observar que a condutividade é maior na lagoa do Imaruí e a DBO é maior no Mirim

Figura 6 - Gráficos dos níveis de concentração da condutividade e DBO nas águas das lagoas Imaruí e Mirim, de novembro de 2017 a abril de 2018.



Os dados obtidos com análises laboratoriais foram utilizados para o cálculo do índice de qualidade de águas (IQA<sub>NSF</sub>), a qual expressa o nível de contaminação presente em um determinado corpo de água em termos de parâmetros físico-químicos e microbiológico (coliformes fecais). Conceitualmente, é um número resultante de uma síntese de valores e pesos atribuídos aos vários parâmetros analisados, e fornece uma indicação relativa da qualidade da água em diferentes pontos no espaço ou tempo (ISAM, 1999).

Os valores obtidos para todos os parâmetros analisados, conforme mostrados nas Tabelas 2 e 3, foram utilizados para determinação do índice da qualidade da água - IQA<sub>NSF</sub>, conforme apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Índice da qualidade da água da lagoa Imaruí e Mirim no período de novembro de 2017 a abril de 2018.

Lagoa	IQA Nov/17	IQA Dez/17	IQA Jan/18	IQA Fev/18	IQA Mar/18	IQA Abr/18	Média
Imaruí	77,41	79,41	68,40	82,10	82,87	79,18	<b>78,83</b>
Mirim	75,64	69,97	71,97	89,28	83,98	78,19	<b>78,14</b>

Fonte: Autora, 2019.

Os resultados obtidos demonstraram a qualidade da água das lagoas do Imaruí e Mirim. Dentre os pontos analisados para as várias coletas ao longo dos meses de novembro de 2017 a abril de 2018, apresentaram uma classificação boa de acordo com índice de qualidade da água, com valores médios obtidos para IQA

de 78,83 para lagoa do Imaruí e 78,14 para lagoa do Mirim. Todos os pontos apresentaram qualidade BOA ou ÓTIMA, que pode ser considerada adequada para produção de pescados e recreação. Um dado a ser considerado, é que mesmo nos meses com baixa taxas pluviométricas (abril e maio de 2018) as notas estiveram alinhadas com os valores obtidos para os meses onde o índice pluviométrico foram mais acentuados (novembro de 2017 a janeiro de 2018), onde se esperaria notas mais elevadas.

Estes dados corroboram com os resultados obtidos pelo Instituto de Pesquisas Hidroviárias (INPH) em 1994, pois mesmo nos meses de poucas chuvas a vazão do Rio Tubarão e as águas do oceano contribuem significativamente com o regime hídrico da lagoa do Imaruí e Mirim através de um processo de entrada e saída contínuo de água. Além disso, o Rio Duna também contribui com o regime hídrico da lagoa do Mirim. Nesse estudo também foi apontado que ocorre diluição dos poluentes da lagoa Imaruí pelas águas das lagoas Santo Antônio e do Mirim, a partir dos rios que desaguam diretamente na lagoa, e pelas águas do oceano.

A determinação do índice da qualidade de água não prevê a presença de substâncias tóxicas na água, entretanto, a combinação deste com a toxicidade por traços de metais reproduz informações mais importantes acerca da qualidade das águas das lagoas do Imaruí e Mirim.

Após a realização das análises físico-químicas, foram realizadas análises de traços de metais presentes nas águas das lagoas Imaruí e Mirim, com intuito de avaliar a toxicidade total das águas.

Os valores obtidos para cada metal analisado para as águas das lagoas do Imaruí e Mirim são apresentados na Tabela 6. Para os metais essenciais foram analisados ferro, cobre e zinco; e para os não essenciais foram analisados cádmio, chumbo, arsênio, mercúrio e cromo.

De acordo com resultados obtidos nas diferentes coletas (Tabela 07), foram observados traços dos metais essenciais nas águas da lagoa do Imaruí, com concentração de ferro que variou de 0,04 mg L<sup>-1</sup> no mês de abril de 2018 para 0,17 mg L<sup>-1</sup> no mês de novembro de 2017. Para o cobre a variação foi menor 0,01 mg L<sup>-1</sup> (janeiro de 2018) para 0,07 mg L<sup>-1</sup> (novembro de 2017) e o zinco 0,01 mg L<sup>-1</sup> (janeiro de 2018) para 0,08 mg L<sup>-1</sup> (dezembro de 2017). Resultados semelhantes foram observados na lagoa do Mirim, onde a concentração de ferro variou de 0,03 mg L<sup>-1</sup> no mês de abril de 2018 para 0,15 mg L<sup>-1</sup> no mês de novembro de 2017, o

cobre variou 0,01 mg L<sup>-1</sup> (dezembro de 2017, janeiro e abril de 2018) para 0,06 mg L<sup>-1</sup> (fevereiro de 2018) e o zinco de 0,01 mg L<sup>-1</sup> (janeiro de 2018) para 0,05 mg L<sup>-1</sup> (março de 2018).

Entretanto, para os metais não essenciais (Cd, Pb, As, Hg e Cr) não foram detectados a presença expressivas para esses elementos, exceto para arsênio onde os valores variaram de 0,01 a 0,06 mg L<sup>-1</sup> ao longo dos meses de coleta. É importante ressaltar que o arsênio além de um excelente conservante de couro e madeira, também é muito utilizado na composição dos defensivos agrícolas. A região ao entorno das lagoas de Imaruí e Mirim é rodeada de plantações de arroz. Sabe-se que plantio de arroz inundado está entre as culturas que mais necessita de recursos hídricos, são utilizadas de 8 a 10 mil m<sup>3</sup> há<sup>-1</sup> de água (vazão de 1,0 a 1,4 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>), com um período de irrigação de 80 a 100 dias, com o preparo de solos onde as várzeas são inundadas cerca de um mês antes da semeadura (POLETTTO, 2012). Na região em estudo, grande parte das águas utilizadas para irrigação das plantações de arroz tem como destino os rios Dunas e Tubarão que desaguam nas lagoas Mirim e Imaruí, respectivamente. Além disso, a contaminação por arsênio também pode ocorrer de forma natural, através de fenômenos como a maré vermelha e incêndios causados de formas naturais. Todos estes fatores podem justificar a presença a concentração de arsênio na água das lagoas. É importante ressaltar, que compostos orgânicos de arsênio são menos nocivos ao organismo humano do que os compostos inorgânicos, porém ambos podem causar danos que vão desde problemas celulares até a morte.

Para o manganês foram obtidas concentrações de 0,01 mg L<sup>-1</sup> nos meses de dezembro de 2017, janeiro e abril de 2018. O maior teor foi obtido em novembro de 2017 na lagoa do Imaruí, com valor 0,09 mg L<sup>-1</sup>.

Os resultados das médias das concentrações (mg L<sup>-1</sup>) e desvio padrão dos metais presentes nas águas das lagoas do Imaruí e Mirim, estão representados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados das médias das concentrações (mg L<sup>-1</sup>) e desvio padrão dos metais comparando as águas das lagoas do Imaruí e Mirim (P < 0,05)

Imaruí		Mirim		Comparação Imaruí com Mirim	
<b>Al</b>	0,20 ± 0,05	<b>Al</b>	0,14 ± 0,09	P > 0,79	NS
<b>As</b>	0,04 ± 0,02	<b>As</b>	0,04 ± 0,02	P > 0,14	NS
<b>Cd</b>	0,003 ± 0,001	<b>Cd</b>	0,003 ± 0,001	P > 0,41	NS
<b>Cr</b>	0,002 ± 0,0	<b>Cr</b>	0,00 ± 0,00	<b>P = 0,05</b>	<b>I &gt; M</b>
<b>Cu</b>	0,03 ± 0,02	<b>Cu</b>	0,03 ± 0,01	P > 0,16	NS
<b>Fe</b>	0,14 ± 0,068	<b>Fe</b>	0,14 ± 0,09	P > 0,99	NS
<b>Mn</b>	0,03 ± 0,03	<b>Mn</b>	0,03 ± 0,02	P > 0,53	NS
<b>Pb</b>	0,002 ± 0	<b>Pb</b>	0,01 ± 0,01	<b>P = 0,05</b>	<b>I &lt; M</b>
<b>Zn</b>	0,02 ± 0,01	<b>Zn</b>	0,02 ± 0,01	P > 0,52	NS
<b>Hg</b>	ND	<b>Hg</b>	ND	-	-

\*NS – diferença não significativa

\*ND – não detectado

Na Tabela 7, são apresentados os resultados das concentrações (mg L<sup>-1</sup>) mínimas e máximas dos metais nas águas comparando as lagoas do Imaruí e Mirim.

Tabela 7 – Resultados das concentrações (mg L<sup>-1</sup>) mínimas e máximas dos metais nas águas comparando as lagoas do Imaruí e Mirim (P < 0,05).

Metais (mg L <sup>-1</sup> )	Imaruí		Metais (mg L <sup>-1</sup> )	Mirim		Comparação Imaruí com Mirim	
	Mín.	Máx.		Mín.	Máx.		
<b>Al</b>	0,02	0,54	<b>Al</b>	0,03	0,34	P > 0,79	NS
<b>As</b>	0	0,22	<b>As</b>	0	0,1	P > 0,14	NS
<b>Cd</b>	0	0,1	<b>Cd</b>	0	0,01	P > 0,41	NS
<b>Cr</b>	0	0,01	<b>Cr</b>	0	0,005	<b>P = 0,05</b>	<b>I &gt; M</b>
<b>Cu</b>	0	0,08	<b>Cu</b>	0	0,07	P > 0,16	NS
<b>Fe</b>	0,03	0,23	<b>Fe</b>	0,034	0,4	P > 0,99	NS
<b>Mn</b>	0,01	0,09	<b>Mn</b>	0	0,06	P > 0,53	NS

<b>Pb</b>	0	0,009	<b>Pb</b>	0	0,06	<b>P = 0,05</b>	<b>I &lt; M</b>
<b>Zn</b>	0	0,04	<b>Zn</b>	0	0,04	P > 0,52	NS
<b>Hg</b>	ND	ND	<b>Hg</b>	ND	ND	-	-

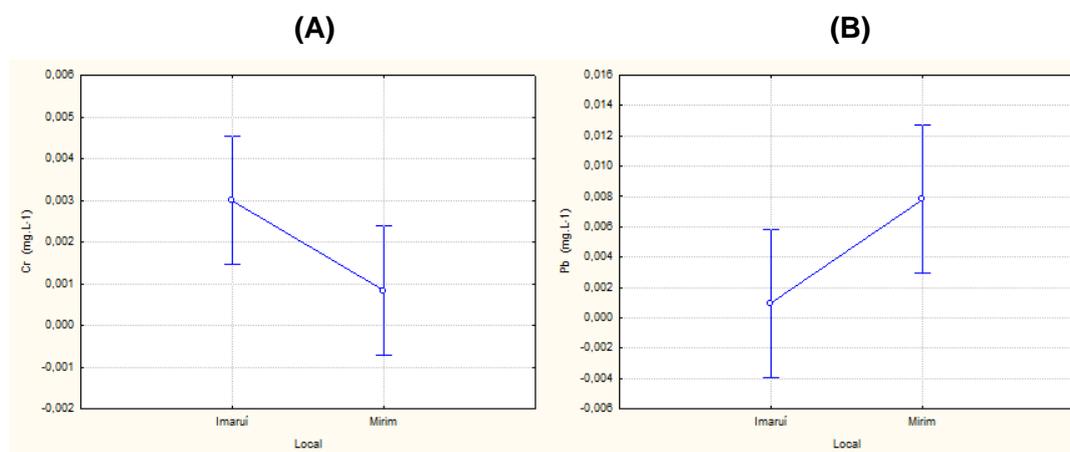
\*NS – diferença não significativa

\*ND – não detectado

Comparando os dados obtidos, após o tratamento estatístico entre os valores mínimos e máximos das concentrações dos metais analisados entre as lagoas, pode-se observar que os metais Cr e Pb, valores de *P* em destaque, observou-se diferenças significativas durante os meses de coleta de novembro de 2017 a abril de 2018.

Na Figura 7, podemos observar os níveis de concentrações de cromo e chumbo entre águas das lagoas do Imaruí e Mirim. De acordo com os dados mostrados nos gráficos A e B, podemos observar que a concentração de cromo é maior na lagoa do Imaruí e a concentração de chumbo é maior na lagoa do Mirim.

Figura 7 - Gráficos dos níveis de concentração dos metais pesados nas águas entre as lagoas Imaruí e Mirim, analisados durante os meses de Nov/2017 a Abr/2018.



De acordo com resolução do CONAMA N<sup>o</sup> 357/2005, que estabelece os limites máximo para a concentração de traços de metais em águas salobras classe 1, mostram que todos os metais analisados apresentaram concentrações abaixo dos limites máximos permitidos pela legislação, independentemente do mês da coleta (amostra). Isto mostra que não foram verificados efeitos tóxicos por traços de metais nas águas das lagoas Imaruí e Mirim, de acordo com os critérios

estabelecidos pela legislação vigente, o que caracteriza a água com excelente padrão de qualidade para pesca e recreação.

## 6.1 CONCENTRAÇÕES DE METAIS ESSENCIAIS E NÃO ESSENCIAIS

Durante as últimas décadas, em função do rápido desenvolvimento industrial e o crescimento populacional no mundo, resultou em um aumento considerável no conteúdo de metais pesados nos ecossistemas aquáticos. É importante ressaltar que em muitas regiões do mundo, os frutos mar, especialmente os peixes e camarões, são amplamente consumidos, pois representam fontes de proteína de boa qualidade. Entretanto, apesar dos benefícios reconhecidos, estes alimentos são propensos à contaminação por metais pesados, entre outros contaminantes (organometálico) e podem representar sérios riscos para a saúde humana.

De acordo com Makedonski, (2015), a determinação de traços de metais em águas é amplamente utilizada para identificar áreas críticas e avaliar a contaminação de organismo vivos, assim como o grau de poluição ambiental. Sabe-se que a exposição contínua de organismos marinhos em baixas concentrações de metais pode resultar em bioacumulação. Os organismos marinhos podem acumular metais pesados por diversos caminhos, incluindo respiração, adsorção e ingestão, influenciando também significativamente o ambiente ecológico marinho, ameaçando a segurança ecológica marinha e os recursos biológicos (BONSIGNORE, *et al*, 2018; IRIZUKI, *et al*, 2018; LIMA, *et al*, 2001; QU, *et al*, 2018; ZHANG, *et al*, 2107). Por sua persistência, toxicidade e a não degradabilidade no ambiente, os metais pesados são caracterizados poluente mortais (GIANNINI *et al.*; 2010).

Assim, poluição ambiental por metais pesados tem atraído a atenção mundial, porque eles se acumulam rapidamente no ambiente natural (KAVCAR, *et al.*, 2009; TIWARI, *et al.*, 2016). Os metais pesados em ambientes aquáticos podem entrar por emissões diretas, por escoamento superficial ou pode vir de outras fontes, como intemperismo geológico e insumos atmosféricos, ou de atividades humanas, como a descarga de esgotos industriais e agrícolas (BRADL, 2005; TIWARI, *et al.*, 2016). Além disso, alguns metais pesados como mercúrio, cádmio, cromo, chumbo e o arsênio pode transformar-se em metal persistente (bioacumulação), compostos com alta poder de toxicidade (RAGI, *et al.*, 2017). Eles

são uma fonte importante da poluição da água e há muito tempo são considerados contaminantes críticos em ecossistemas aquáticos devido à sua toxicidade, persistência, não-degradabilidade e bioacumulação. (SPANOPOULOS-ZARCO, *et al.*, 2014).

Metais pesados podem se acumular no tecido adiposo e fígado de humanos e animais (BHUIYAN, *et al.*, 2010), que afeta o sistema nervoso, circulatório e imunológico (LAUWERYS, H. *et al.*, 1979; STRAIF, *et al.*, 2009). Além disso, alguns metais, como cádmio e cromo (Bonsignore, *et al.*, 2018) pode ser carcinogênico quando armazenado no corpo por longos períodos.

A média dos resultados obtidos para os metais nos sedimentos, carapaças e os músculos dos camarões capturados nas lagoas do Imaruí e Mirim são apresentados na Tabelas 8, 9 e 10. Para os metais essenciais foram analisados ferro, cobre, manganês e zinco; e para os não essenciais foram analisados cádmio, chumbo, arsênio, mercúrio e crômio e alumínio.

De acordo com os resultados obtidos, foram observados presença metais essenciais e não essenciais nos sedimentos, carapaças e nos músculos dos camarões capturados nas lagoas do Imaruí e Mirim. Valores mais expressivos foram observados nos sedimentos, seguidos das carapaças e pelos músculos dos camarões.

A partir da interpretação dos resultados, podemos identificar a presença de dois grupos de metais: (i) os de origem litogênica (Fe, Al e Mn), possivelmente devido à erosão dos solos da bacia de drenagem do rio Tubarão e Dunas, e (ii) os de origem antrópica (Cd, Zn, As, Cu, Pb e Hg), com um horizonte de aumento das concentrações muito bem definido, marcando o início da ocupação urbana e a exploração de minas de carvão e utilização de baterias na pesca artesanal.

## 6.2 SEDIMENTOS

Nos sedimentos, as maiores concentrações dos metais na lagoa do Imaruí, foram observadas para os elementos o ferro e alumínio, com concentrações média ao longo dos seis meses de 31401,26 mg kg<sup>-1</sup> para o ferro e 41931,6 mg kg<sup>-1</sup> para o alumínio. Também foram observados valores médios menos expressivos para manganês (477,88 mg kg<sup>-1</sup>), zinco (79,07 mg kg<sup>-1</sup>), cobre (23,27 mg kg<sup>-1</sup>), cádmio

(52,67 mg kg<sup>-1</sup>), arsênio (8,82 mg kg<sup>-1</sup>), chumbo (17,30 mg kg<sup>-1</sup>) e crômio (28,59 mg kg<sup>-1</sup>).

Os resultados obtidos para os metais nos sedimentos da lagoa do Mirim foram maiores do que os resultados observados na Lagoa do Imaruí. As concentrações médias ao longo dos seis meses foram de 38914,70 mg kg<sup>-1</sup> para o ferro e 52171,64 mg kg<sup>-1</sup> para o alumínio. Também foram observados valores menos expressivos para manganês (480,76 mg kg<sup>-1</sup>), zinco (98,10 mg kg<sup>-1</sup>), cobre (26,28 mg kg<sup>-1</sup>), cádmio (5367 mg kg<sup>-1</sup>), arsênio (13,50 mg kg<sup>-1</sup>), chumbo (19,74 mg kg<sup>-1</sup>) e crômio (31,10 mg kg<sup>-1</sup>). Este fato pode estar relacionado com a água dos oceanos que faz a distribuição ao longo da coluna d'água e represam, e depois depositam por sedimentação os sedimentos na lagoa do Mirim. Não foram detectados presença de mercúrio em todas as amostras analisadas. Na Tabela 8 são apresentados os valores médios e o valor de *P* (*P* < 0,05) para os metais analisados nos sedimentos para os 6 meses de amostragens na lagoa do Imaruí e Mirim. Todos os resultados que apresentam valores de *P* maior do que 0,05 (*P* > 0,05) não tem diferença significativa nos dados analisados. Na tabela 9, são apresentados os resultados comparativos para os sedimentos entre as lagoas do Imaruí e Mirim. Observa-se que os resultados obtidos para Al, As, Fe e Zn, apresentaram valores de *P* < 0,05, portanto, estes dados apresentam diferença estatística significativa.

Tabela 8 - Resultados das médias das concentrações (mg Kg<sup>-1</sup>) e desvio padrão dos metais comparando sedimentos das lagoas do Imaruí e Mirim (*P* < 0,05)

<b>Metais</b> (mg kg <sup>-1</sup> )	<b>Imaruí</b>	<b>Mirim</b>		<b>Comparação Imaruí com Mirim</b>	
	<b>Média ± DP</b>	<b>Metais</b> (mg kg <sup>-1</sup> )	<b>Média ± DP</b>	<b>Valor do P &lt; 0,05</b>	
<b>Al</b>	41931,6 <sup>b</sup> ± 8603,45	<b>Al</b>	52171,64 <sup>a</sup> ± 15763,01	<i>P</i> < 0,02	<b><i>P</i> &lt; 0,05</b>
<b>As</b>	8,82 <sup>b</sup> ± 3,42	<b>As</b>	13,50 <sup>b</sup> ± 4,14	<i>P</i> < 0,001	<b><i>P</i> &lt; 0,05</b>
<b>Cd</b>	52,67 <sup>a</sup> ± 52,63	<b>Cd</b>	53,67 <sup>a</sup> ± 53,60	<i>P</i> > 0,89	NS
<b>Cr</b>	28,6 <sup>b</sup> ± 18,92	<b>Cr</b>	31,10 <sup>b</sup> ± 15,91	<i>P</i> > 0,67	NS
<b>Cu</b>	23,27 <sup>b</sup> ± 5,60	<b>Cu</b>	26,28 <sup>b</sup> ± 5,07	<i>P</i> > 0,1	NS

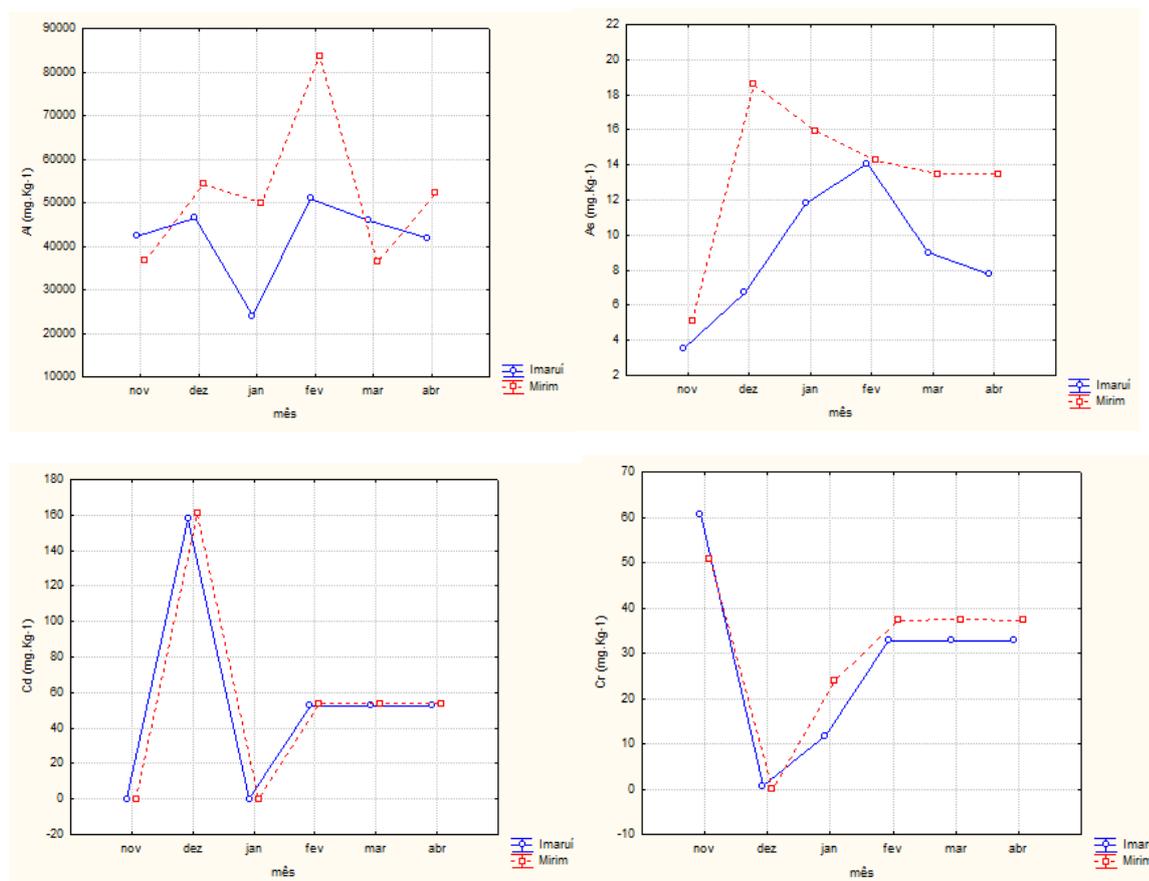
<b>Fe</b>	31401,26 <sup>b</sup> ± 7858,07	<b>Fe</b>	38914,70 <sup>b</sup> ±10641,78	P < 0,025	<b>P &lt; 0,05</b>
<b>Mn</b>	477,88 <sup>b</sup> ± 126,60	<b>Mn</b>	480,76 <sup>b</sup> ±85,26	P > 0,94	NS
<b>Pb</b>	17,30 <sup>b</sup> ± 7,50	<b>Pb</b>	19,74 <sup>a</sup> ± 3,93	P > 0,24	NS
<b>Zn</b>	79,07 <sup>b</sup> ± 22,00	<b>Zn</b>	98,10 <sup>b</sup> ± 27,71	P < 0,03	<b>P &lt; 0,05</b>
<b>Hg</b>	ND	<b>Hg</b>	ND	-	-

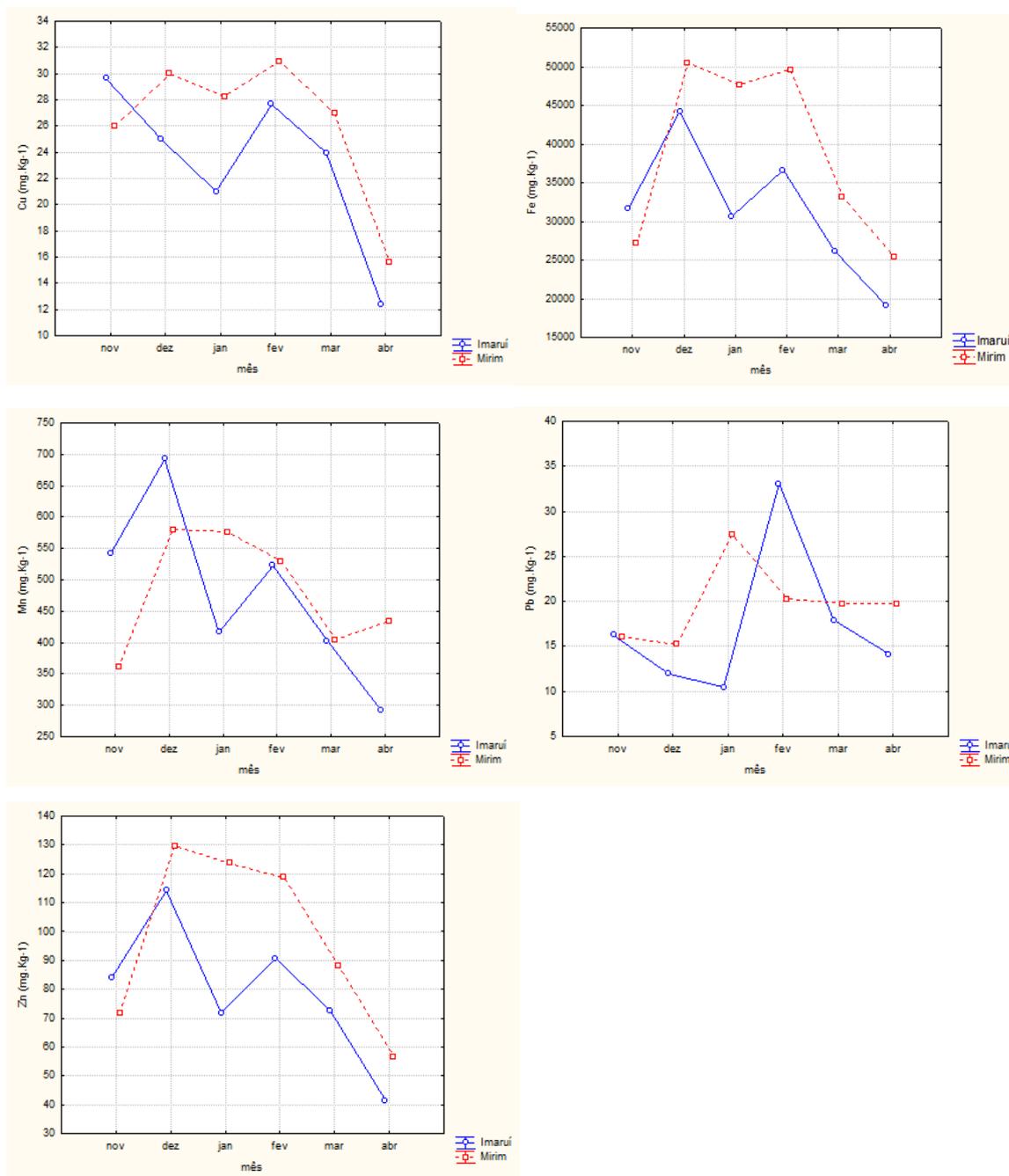
\*NS – diferença não significativa

\*ND – não detectado

A correlação dos resultados obtidos para os metais nos sedimentos em escala temporal nas duas lagoas pode ser visualizada na Figura 8.

Figura 8 – Gráficos dos níveis de concentração dos metais pesados nos sedimentos entre as lagoas Imaruí e Mirim, analisados durante os meses de Nov/2017 a Abr/2018





Fonte: Autora, 2019.

Conforme apresentados na Figura 8, observa-se que os níveis de contaminação dos sedimentos da lagoa do Mirim foram mais elevados do que a lagoa do Imaruí. As concentrações dos metais na lagoa do Mirim foram maiores exceto, Pb, Mn, Cd e Cr, onde as concentrações foram praticamente iguais para ambas as lagoas, durante o período de coleta. Em conformidades com alguns autores uma das razões dos metais pesados em sedimentos marinhos é que são originários de ambos geogênicos (físico e químico interperimo de rocha-mãe) e

fontes antropogênicas (ANBUSELVAN N.; SENTHIL, N.D.; SRIDHARAN M.; 2018). O sedimento é uma matriz abiótica potencial, composta por detritos inorgânicos e orgânicos, e é relativamente heterogêneo em termos de suas propriedades físico-químicas e características biológicas. Um componente importante do estuário ambiente na ciclagem biogeoquímica de metais, é que eles são considerados como um dos potenciais sumidouros de fontes de inorgânicos e contaminantes orgânicos, durante mudanças nas condições ambientais (tais como potencial, pH e outros) (SARKAR, S.K.; 2018). Nas áreas estudadas, ainda não existe estudos científicos, especificando corretamente quais os elementos que constituem a rocha-mãe das lagoas, mas segundo o autor (ZHAO, G.; *et al*; 2017), o Al e K são constituintes principais de minerais de silicato. O alumínio é extremamente imóvel no ambiente marinho e é geralmente realizada em uma rede de minerais de aluminossilicato e considerados como um elemento litogênico. Portanto, Al e K<sub>2</sub>O representa principalmente a origem litogênica do intemperismo, erosão de rochas e materiais de origem do solo. As fontes antropogênicas de metais pesados foram demonstradas em muitos estuários em todo o mundo. Nos sedimentos Cd, Cu, Pb e Zn foram significativamente derivados de fontes antropogênicas. Este grupo de elementos retratou a antropogênica entrada e acumulação nos sedimentos estuarinos principalmente pela indústria, atividades agrícolas e desenvolvimento urbano (ANBUSELVAN N.; SENTHIL, N.D.; SRIDHARAN M.; 2018. ZHAO, G.; *et al*.; 2017. BÁRCENA, J.F.; *et al*; 2017).

Além disso, na região das lagoas existe plantações de arroz e segundo o autor YI, K. *et al* (2018), o acúmulo de metais pesados no solo agrícola tem atraído atenção, devido a sua alta toxicidade, persistência, toxicidade de acúmulo de metais, como: mercúrio (Hg), zinco (Zn), chumbo (Pb), cádmio (Cd), cromo (Cr) e cobre (Cu), bem como metaloides como arsênio (As), que são considerados como metais pesados acumulativos em solo.

Para Anbuselvan N.; Senthil, N.D.; Sridharan M. (2018), o enriquecimento de Cd e Cr nos sedimentos são principalmente de insumos antropogênicos. Os efluentes de esgoto, mineração, agricultura e atividades industriais em terras adjacentes pode ser responsável pela contaminação muito alta do Cd na área de estudo. Este metal pode estar acompanhado com várias formas de materiais orgânicos e ocorre na forma de complexos estáveis e sulfetos metálicos. O Pb é um elemento imensamente estável e, como consequência, é muito tóxico para

humanos e animais. A maior concentração de chumbo nos sedimentos superficiais pode ser devida ao transporte de sedimentos contaminados com chumbo do interior. Já o Zn, é amplamente distribuído na natureza, perfazendo entre 0,0005% e 0,02% da crosta terrestre. O zinco encontrado pode estar associado com lama e matéria orgânica e menos com areia. A alta concentração de Zn, indica que este metal é derivado principalmente da área agrícola ou doméstica próxima. Nos sedimentos a concentração de metais pesados pode variar de acordo com a razão de deposição dos metais, sedimentação das partículas, natureza e tamanho das partículas e a presença e ausência de matéria orgânica e espécies complexantes.

### 6.3 METAIS EM CAMARÃO: CARAPAÇAS E MÚSCULOS

Nas carapaças dos camarões foram obtidas concentrações mais elevadas dos metais do que nos músculos, independentemente do metal analisado. Importante ressaltar que a composição química das cascas dos camarões apresenta alto teor de quitina, além proteínas, carbonato de cálcio e pigmentos. Devido a sua composição e versatilidade, a casca pode funcionar como filtro ou como adsorvente de metais na proteção dos músculos dos camarões. O exoesqueleto geralmente contém uma carga significativa de metais e, dessa forma, os elementos passivamente absorvidos neste tecido contribuirão para aumentar a concentração de metais no músculo. De acordo com resultados apresentados na Tabela 9, as maiores concentrações de metais nas cascas dos camarões capturados na lagoa do Imaruí foram observadas para ferro e alumínio, com concentrações médias ao longo de seis meses foi de 172,94 mg kg<sup>-1</sup> para o ferro e 48,44 mg kg<sup>-1</sup> para o alumínio. Valores menores foram observados para manganês (27,93 mg kg<sup>-1</sup>), zinco (41,91 mg kg<sup>-1</sup>), cobre (43,10 mg kg<sup>-1</sup>), cádmio (0,19 mg kg<sup>-1</sup>), arsênio (0,04 mg kg<sup>-1</sup>), chumbo (4,44 mg kg<sup>-1</sup>) e cromo (3,77 mg kg<sup>-1</sup>).

Resultados semelhantes foram observados com as cascas dos camarões capturados na lagoa do Mirim demonstrados na tabela 9, onde as maiores concentrações também foram para o ferro (149,6 mg kg<sup>-1</sup>) e alumínio (66,33 mg kg<sup>-1</sup>). Valores menores foram observados para manganês (26,04 mg kg<sup>-1</sup>), zinco (42,76 mg kg<sup>-1</sup>), cobre (64,38 mg kg<sup>-1</sup>), cádmio (0,27 mg kg<sup>-1</sup>), arsênio (0,04 mg kg<sup>-1</sup>), chumbo (2,35 mg kg<sup>-1</sup>) e cromo (1,82 mg kg<sup>-1</sup>). Não foram detectados presença de mercúrio em todas as amostras analisadas nas duas lagoas.

Tabela 9 - Resultados das médias das concentrações (mg L<sup>-1</sup>) e desvio padrão dos metais comparando as carapaças dos camarões das lagoas do Imaruí e Mirim (P < 0,05).

Imaruí		Mirim		Comparação Imaruí com Mirim	
Metais	Média ± DP	Metais	Média ± DP	Valor de (P < 0,05)	
<b>Al</b>	48,44 <sup>a</sup> ± 18,51	<b>Al</b>	66,33 <sup>a</sup> ± 15,22	P > 0,19	NS
<b>As</b>	2,39 <sup>a</sup> ± 0,82	<b>As</b>	2,42 <sup>a</sup> ± 1,50	P > 0,95	NS
<b>Cd</b>	0,19 <sup>a</sup> ± 0,02	<b>Cd</b>	0,27 <sup>b</sup> ± 0,05	<b>P &lt; 0,04</b>	<b>P &lt; 0,05</b>
<b>Cr</b>	3,77 <sup>a</sup> ± 2,53	<b>Cr</b>	1,82 <sup>a</sup> ± 0,67	P > 0,08	NS
<b>Cu</b>	43,10 <sup>a</sup> ± 12,17	<b>Cu</b>	64,38 <sup>a</sup> ± 8,84	P > 0,18	NS
<b>Fe</b>	172,94 <sup>a</sup> ± 48,24	<b>Fe</b>	149,65 <sup>a</sup> ± 54,71	P > 0,35	NS
<b>Mn</b>	27,93 <sup>a</sup> ± 6,88	<b>Mn</b>	26,04 <sup>b</sup> ± 7,59	P > 0,61	NS
<b>Pb</b>	4,44 <sup>b</sup> ± 2,58	<b>Pb</b>	2,35 <sup>ab</sup> ± 1,33	<b>P &lt; 0,02</b>	<b>P &lt; 0,05</b>
<b>Zn</b>	41,91 <sup>a</sup> ± 10,99	<b>Zn</b>	42,76 <sup>a</sup> ± 5,97	P > 0,84	NS
<b>Hg</b>	ND	<b>Hg</b>	ND	-	-

\*NS – diferença não significativa

\*ND – não detectado

De acordo com os resultados obtidos, os valores de P para o Cádmio (Cd) e Chumbo (Pb), foram menores que 0,05, o que caracteriza diferença estatística significativa, quando são comparados os resultados obtidos para as carapaças das duas lagoas, do Imaruí e Mirim.

Os resultados das análises dos músculos dos camarões capturados nas duas lagoas mostraram que as concentrações dos diferentes metais são menores do que as concentrações encontradas no exoesqueleto (casca), exceto para Al, Cu e Zn (Tabela 10). Isto mostra que as cascas estão agindo como um adsorvente de metais contribuindo para diminuição da contaminação por traços de metais nos músculos dos camarões.

As concentrações menores nos camarões limpo (músculo), quando comparado ao exoesqueleto são resultados comumente encontrados na literatura entre espécies do gênero *Penaeus* (Pourang *et al.*, 2005; Darmono & Denton, 1990), e podem estar associadas ao hepatopâncreas (glândula digestiva de muitos invertebrados), além da capacidade filtrante das carapaças (YILMAZ & YILMAZ,

2007). Nos crustáceos decápodes, o hepatopâncreas tem funções semelhantes ao fígado dos vertebrados, e está relacionado ao metabolismo de nutrientes dos elementos essenciais, e na remoção dos elementos não essenciais (ARULKUMAR, A.; PARAMASIVAM, S.; RAJARAM, R., 2017). Isso faz com que o exoesqueleto geralmente contenha uma carga mais significativa de metais e, dessa forma, os elementos passivamente absorvidos neste tecido contribuirão para aumentar a concentração de metais no organismo dos camarões (RAINBOW, 2007).

Embora os metais sejam constituintes normais do ambiente marinho, alguns deles são essenciais para os crustáceos. Importante relatar que uma vez introduzidos no ambiente aquático, os metais são redistribuídos ao longo da coluna d'água, depositados ou acumulados em sedimentos e consumidos pela biota (KLJAKOVIC'-GAŠPIC' *et al*, 2010).

Os metais pesados podem ser classificados como potencialmente tóxicos ou não essenciais como o arsênio, cádmio, chumbo, mercúrio, níquel, e essenciais como cobre, zinco, ferro, manganês, selênio. Os camarões e os peixes são bons indicadores para o monitoramento de longo prazo do acúmulo de metais em ambiente marinho (MAKEDONSKI, L.; PEYCHEVA, K.; STANCHEVA, M.; 2017).

As concentrações médias obtidas para os músculos dos camarões capturados na lagoa do Imaruí para o ferro foi 114,91 mg kg<sup>-1</sup>, zinco 54,64 mg kg<sup>-1</sup>, cobre 49,69 mg kg<sup>-1</sup> e manganês 6,99 mg kg<sup>-1</sup>. Para lagoa do Mirim os resultados foram muito semelhantes, onde para o ferro a concentração foi 102,64 mg kg<sup>-1</sup>, zinco 57,70 mg kg<sup>-1</sup>, cobre 45,36 mg kg<sup>-1</sup> e manganês 7,60 mg kg<sup>-1</sup>.

Entretanto, para os metais não essenciais, os valores observados foram menos expressivos. Para lagoa do Imaruí as concentrações médias obtidas para o cádmio foi 0,19 mg kg<sup>-1</sup>, arsênio 1,55 mg kg<sup>-1</sup>, chumbo 0,89 mg kg<sup>-1</sup> e cromo 2,44 mg kg<sup>-1</sup>. Para lagoa do Mirim as concentrações médias observadas foram levemente maiores para todos os metais analisados, onde a concentração obtida para o cádmio foi 0,21 mg kg<sup>-1</sup>, arsênio 2,12 mg kg<sup>-1</sup>, chumbo 1,17 mg kg<sup>-1</sup> e cromo 4,11 mg kg<sup>-1</sup>.

Não foram detectados presença de mercúrio em todas as amostras analisadas nas duas lagoas.

Tabela 10 – Resultados das médias das concentrações (mg L<sup>-1</sup>) e desvio padrão dos metais comparando os músculos dos camarões das lagoas do Imaruí e Mirim (P < 0,05).

Imaruí		Mirim		Comparação Imaruí com Mirim	
Metais	Média ± DP	Metais	Média ± DP	Valor P < 0,005	
<b>Al</b>	55,10 <sup>a</sup> ± 19,02	<b>Al</b>	50,70 <sup>a</sup> ± 30,91	P > 0,59	NS
<b>As</b>	2,27 <sup>a</sup> ± 0,40	<b>As</b>	2,12 <sup>a</sup> ± 0,83	P > 0,73	NS
<b>Cd</b>	0,19 <sup>a</sup> ± 0,02	<b>Cd</b>	0,21 <sup>a</sup> ± 0,03	P > 0,27	NS
<b>Cr</b>	2,44 <sup>a</sup> ± 0,97	<b>Cr</b>	4,11 <sup>a</sup> ± 1,54	<b>P &lt; 0,009</b>	<b>P &lt; 0,05</b>
<b>Cu</b>	49,69 <sup>a</sup> ± 13,42	<b>Cu</b>	45,36 <sup>a</sup> ± 21,70	P > 0,58	NS
<b>Fe</b>	114,91 <sup>a</sup> ± 53,90	<b>Fe</b>	102,64 <sup>a</sup> ± 45,37	P > 0,75	NS
<b>Mn</b>	6,99 <sup>a</sup> ± 3,09	<b>Mn</b>	7,60 <sup>a</sup> ± 3,39	P > 0,61	NS
<b>Pb</b>	1,62 <sup>a</sup> ± 0,41	<b>Pb</b>	1,17 <sup>a</sup> ± 0,61	P > 0,29	NS
<b>Zn</b>	54,64 <sup>a</sup> ± 8,52	<b>Zn</b>	57,70 <sup>a</sup> ± 18,93	P > 0,95	NS
<b>Hg</b>	ND	<b>Hg</b>	ND	-	-

\*NS – diferença não significativa

\*ND – não detectado

Conforme podemos observar através dos resultados apresentados na Tabela 10, todos os metais analisados para os músculos dos camarões capturados nas lagoas Imaruí e Mirim, durante o período de estudo, não apresentaram diferença estatística significativa, exceto para o cromo (Cr) que quando comparados resultados entre as duas lagoas observa-se valor de P < 0,05.

#### 6.4 ANÁLISE DOS METAIS EM ESCALA TEMPORAL

O estuário do complexo Lagunar é considerado um dos mais importantes criadouros de camarão do sul do Brasil, e se constitui em um dos principais recursos pesqueiros da região Sul catarinense, devido a qualidade e o alto valor comercial dos camarões. A intensa pesca efetuada sobre os camarões juvenis vem contribuindo para a redução do estoque adulto.

Outro ponto a ser considerado é que na região das lagoas estudadas, o efeito da maré tem importância secundária. A relação entre descarga fluvial e ação

dos ventos altera profundamente a circulação das águas lagunares e, conseqüentemente, os processos de dessalinização ou salinização podem durar por vários dias ou até meses. A salinidade no estuário decresce de forma exponencial com o aumento da descarga fluvial (GUHATHAKURTA, H; KAVIRAJ, A.; 2000). Este aumento associa-se diretamente a períodos de grande ocorrência de pluviosidade, associados ao fenômeno El Niño (STRECK, N. A. *et al*; 2008). De acordo com Netto, S. A. *et al* (2018), a passagem de frentes meteorológicas eleva o nível do mar na costa sob efeito de ventos nordeste, forçando águas marinhas para o interior da laguna, em períodos de descarga fluvial fraca ou moderada, característico de períodos de La Niña, quando a precipitação pode ficar abaixo da média, favorecendo a intensa salinização das lagoas.

Variações na intensidade de salinização deste ambiente implicam no maior ou menor tempo de residência de substâncias naturais ou introduzidas por atividade humana, e podem refletir em variações na acumulação dos metais pelos organismos, especialmente os camarões. Embora o estuário da Lagunar tenha sido alvo de iniciativas de alguns estudos ambientais, bem como de estudos que mostram os efeitos de metais nos sedimentos e na água, falta conhecimento desses efeitos combinados com outros fatores ambientais, como por exemplo salinidade e temperatura.

Assim, foram realizados estudos para avaliação das concentrações dos metais essenciais e não essenciais nos camarões limpos (músculos) capturados nas lagoas de Imaruí e Mirim, durante o período de novembro de 2017 a abril de 2018. Nas Tabelas 11 e 12, são apresentados os valores médios para os metais essenciais analisados nos músculos dos camarões inteiro e limpo para os 6 meses de amostragens na lagoa do Imaruí e Mirim.

#### **6.4.1 Metais essenciais**

De maneira geral, as concentrações dos metais essenciais foram significativas nos músculos dos camarões capturados nas duas lagoas, Imaruí e Mirim. Os menores valores para concentração dos metais essenciais foram obtidos na lagoa Imaruí no mês abril e os maiores nos meses de dezembro e janeiro (Tabela 11). As concentrações mais expressivas na lagoa do Imaruí foram observadas para o elemento ferro, onde a variações das concentrações foram de

54,45 mg Kg<sup>-1</sup> em abril de 2018 para 196,89 mg Kg<sup>-1</sup> em janeiro de 2018. Para o elemento zinco o maior valor foi 75,84 mg Kg<sup>-1</sup> (dezembro) e o menor foi 50,51 mg Kg<sup>-1</sup> (abril) e para cobre o maior valor obtido foi 78,72 mg Kg<sup>-1</sup> (março) e o menor 46,18 mg Kg<sup>-1</sup> (abril).

Os resultados obtidos para concentração dos metais essenciais para os músculos dos camarões na lagoa do Mirim foram levemente inferiores quando comparados com valores obtidos para a lagoa do Imaruí, conforme pode ser visualizado na Tabela 12. Os maiores valores também foram obtidos para o ferro, onde a maior concentração foi 172,31 mg Kg<sup>-1</sup> em dezembro de 2017, e a menor concentração foi 29,64 mg Kg<sup>-1</sup> obtida em abril de 2018. Para o zinco a maior concentração foi 93,03 mg Kg<sup>-1</sup> obtida em fevereiro de 2018 e o menor foi 28,37 mg Kg<sup>-1</sup> (abril) e para cobre o maior valor obtido foi 92,56 mg Kg<sup>-1</sup> (março) e o menor 26,32 mg Kg<sup>-1</sup> (abril).

Entretanto, as altas concentrações de Mn observadas nos músculos dos camarões nas duas lagoas amostrados, podem ser explicadas pela similaridade química deste elemento com o Cálcio. O Mn compete com o Ca durante as carbonatações das carapaças (Phillips, 1977) e, uma vez exposto a um meio deficiente de Ca, o organismo tende a substituí-lo por outros metais que apresentaram grande disponibilidade no meio, no caso, o Mn. A maior concentração de Mn no músculo do camarão na lagoa do Imaruí foi encontrada em janeiro de 2018, com concentração 11,54 mg Kg<sup>-1</sup> e a menor foi em novembro de 2017 com concentração de 2,77 mg Kg<sup>-1</sup>. O valor médio obtido ao longo dos seis meses foi 6,98 mg Kg<sup>-1</sup>. Valores semelhantes foram obtidos na lagoa do Mirim, onde o valor médio foi 7,60 mg Kg<sup>-1</sup> e o maior valor foi janeiro de 2018, com concentração 10,76 mg Kg<sup>-1</sup> e a menor foi 1,66 mg Kg<sup>-1</sup> em novembro de 2017.

Tabela 11 – Análises de metais essenciais nos músculos pequenos, médios e grandes do camarão da lagoa Imaruí:

<b>Metais (mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Nov/17</b>	<b>Dez/17</b>	<b>Jan/18</b>	<b>Fev/18</b>	<b>Mar/18</b>	<b>Abr/18</b>
<b>Cobre</b>	37,64 ± 12,26	41,56 ± 5,66	47,30 ± 4,72	46,73 ± 5,16	78,72 ± 19,13	46,18 ± 15,38
<b>Ferro</b>	167,78± 43,7	126,59 ± 9,84	196,89 ± 135,04	57,39 ± 13,85	86,38 ± 5,73	54,45 ± 17,67
<b>Manganês</b>	2,77 ± 0,31	7,22 ± 0,57	10,325 ± 2,84	4,995 ± 0,72	11,545 ± 2,00	5,049 ± 1,11
<b>Zinco</b>	57,43 ± 5,37	75,84 ± 17,79	58,00 ± 4,69	51,03 ± 1,65	53,26 ± 1,98	50,51 ± 10,24

\*Todos os dados expressos em média ± desvio padrão

Tabela 12 – Análises de metais essenciais nos músculos pequenos, médios e grandes do camarão da lagoa Mirim:

<b>Metais (mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Nov/17</b>	<b>Dez/17</b>	<b>Jan/18</b>	<b>Fev/18</b>	<b>Mar/18</b>	<b>Abr/18</b>
<b>Cobre</b>	36,86 ± 3,04	35,61 ± 0,49	37,52 ± 3,37	43,3 ± 7,45	92,56 ± 37,72	26,32 ± 4,48
<b>Ferro</b>	99,33 ± 14,66	172,31 ± 13,15	91,80 ± 11,19	142,15 ± 48,39	80,47 ± 17,42	29,74 ± 11,70
<b>Manganês</b>	1,66± 0,27	9,76 ± 1,13	10,88 ± 2,22	7,77 ± 0,41	10,76 ± 0,57	4,74 ± 1,10
<b>Zinco</b>	51,79 ± 3,82	55,75 ± 3,74	59,54 ± 3,57	93,03 ± 58,99	57,69 ± 8,18	28,37 ± 5,34

\*Todos os dados expressos em média ± desvio padrão

Na tabela 13 são mostrados os resultados obtidos para a concentração de metais nas cascas (carapaças) ao longo dos seis meses de estudo na lagoa do Imaruí. De modo geral a concentração de metais na casca é cerca de 30% maior quando comparados com os resultados obtidos para o músculo do camarão limpo, independentemente do metal e da amostra analisada. As maiores concentrações foram observadas no mês de janeiro, onde a concentração de ferro na casca foi 240,88 mg Kg<sup>-1</sup>, zinco 75,70 mg Kg<sup>-1</sup> e cobre 61,43 mg Kg<sup>-1</sup>. Entretanto, os menores valores foram observados no mês de abril, onde a concentração do ferro foi de

188,26 mg Kg<sup>-1</sup>, zinco 39,90 mg Kg<sup>-1</sup> e cobre 74,33 mg Kg<sup>-1</sup>. Valores intermediários foram obtidos nos outros meses.

Os resultados obtidos para os metais essenciais para as cascas dos camarões na lagoa do Mirim foram maiores quando comparados com valores obtidos para as cascas dos camarões na lagoa para do Imaruí, conforme pode ser visualizado nas (Tabelas 13 e 14). Este fato pode justificar a menor concentração encontrada no músculo do camarão da lagoa do Mirim. As maiores concentrações foram observadas no mês de janeiro, onde a concentração de ferro na casca foi 166,75 mg Kg<sup>-1</sup>, zinco 50,84 mg Kg<sup>-1</sup> e cobre 79,49 mg Kg<sup>-1</sup>. Valores inferiores foram observados no mês de abril, onde a concentração do ferro foi de 100,50 mg Kg<sup>-1</sup>, zinco 34,75 mg.Kg<sup>-1</sup> e cobre 52,61 mg.Kg<sup>-1</sup>. Valores intermediários foram obtidos nos outros meses estudados.

Tabela 13 – Análises de metais essenciais nas cascas dos camarões pequenos, médios e grandes da lagoa Imaruí:

<b>Metais (mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Nov/17</b>	<b>Dez/17</b>	<b>Jan/18</b>	<b>Fev/18</b>	<b>Mar/18</b>	<b>Abr/18</b>
<b>Cobre</b>	52,47 ± 5,30	62,69 ± 4,34	75,7 ± 4,75	71,02 ± 1,83	74,33 ± 1,12	42,40 ± 4,55
<b>Ferro</b>	78,77 ± 17,18	183,40 ± 28,16	240,88 ± 43,34	181,39 ± 58,44	188,26 ± 46,77	164,98 ± 79,24
<b>Manganês</b>	24,97 ± 23,90	16,98 ± 0,82	22,43 ± 6,86	32,50 ± 9,29	27,40 ± 8,09	29,89 ± 5,49
<b>Zinco</b>	39,29 ± 2,48	48,26 ± 1,28	61,43 ± 27,44	37,07 ± 1,73	39,90 ± 3,65	25,52 ± 3,18

\*Todos os dados expressos em média ± desvio padrão

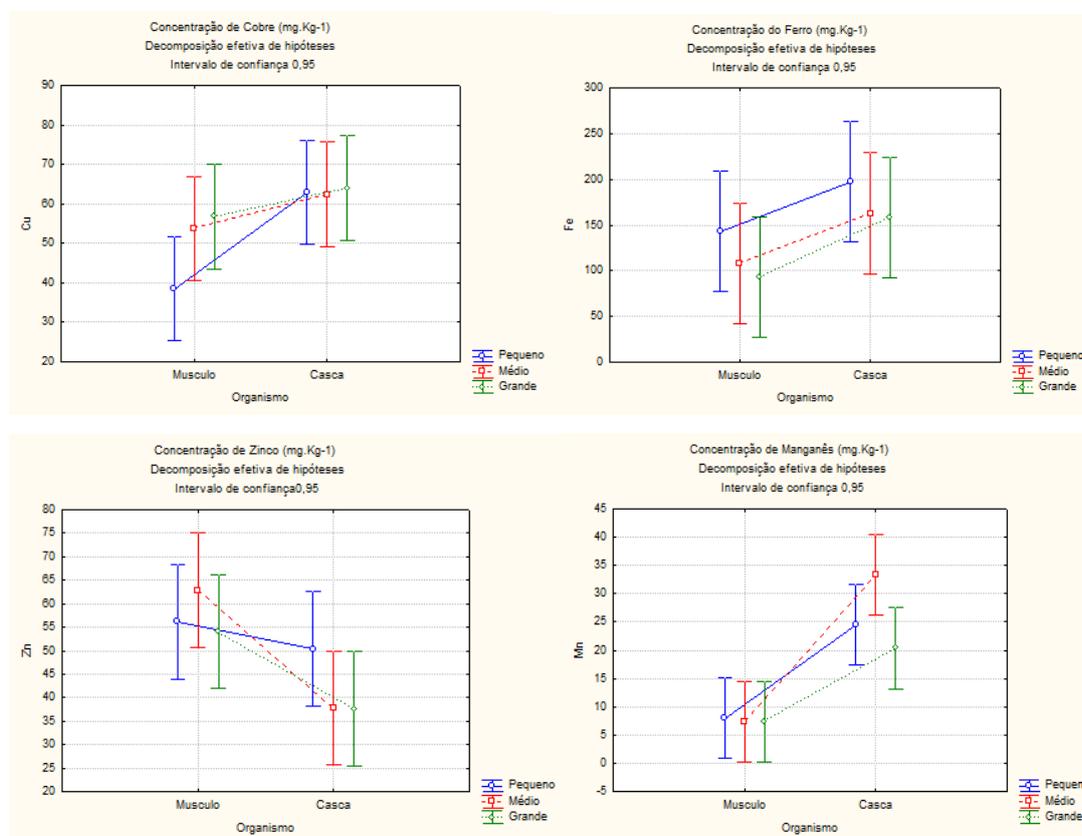
Tabela 14 - Análises de metais essenciais nas cascas dos camarões pequenos, médios e grandes da lagoa Mirim:

<b>Metais (mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Nov/17</b>	<b>Dez/17</b>	<b>Jan/18</b>	<b>Fev/18</b>	<b>Mar/18</b>	<b>Abr/18</b>
<b>Cobre</b>	72,36 ± 6,65	64,40 ± 0,69	79,49 ± 6,74	76,41 ± 6,38	70,94 ± 5,80	52,61 ± 24,05
<b>Ferro</b>	102,02 ± 23,89	158,56 ± 22,87	166,75 ± 14,31	156,03 ± 115,96	122,02 ± 15,28	100,50 ± 41,19
<b>Manganês</b>	24,98 ± 4,78	18,98 ± 1,53	40,95 ± 15,00	25,88 ± 5,81	27,75 ± 7,75	17,70 ± 11,98
<b>Zinco</b>	41,26 ± 3,37	50,54 ± 2,47	50,84 ± 8,48	40,21 ± 5,32	38,93 ± 2,62	34,75 ± 9,16

\*Todos os dados expressos em média ± desvio padrão

O objetivo inicial do estudo foi de fazer uma investigação dos níveis de concentrações de traços de metais nos diferentes tamanhos de camarões pescados artesanalmente e comercializados nas lagoas Imaruí e Mirim do Complexo Lagunar de Laguna – SC. Entretanto, analisando os resultados entre os três tamanhos dos camarões, observou-se que não houve diferença significativa entre eles (cascas e músculos). Mas, para uma melhor compreensão do comportamento da absorção e concentração dos metais essenciais e não essenciais entre carapaças e músculos, foram feitos gráficos usando o programa Statistica 7.0, factorial ANOVA, com variação dos metais, utilizando os resultados das médias de todos os meses comparando o período de estudo com os três tamanhos (pequeno, médio e grande), tanto do músculo quanto para as carapaças. Os resultados são mostrados na Figura 9.

Figura 9 – Gráficos das médias dos níveis de concentração dos metais essenciais entre cascas e músculos da lagoa Imaruí para os camarões pequeno, médio e grande, analisados durante os meses de Nov/2017 a Abr/2018.



Fonte: Autora, 2019.

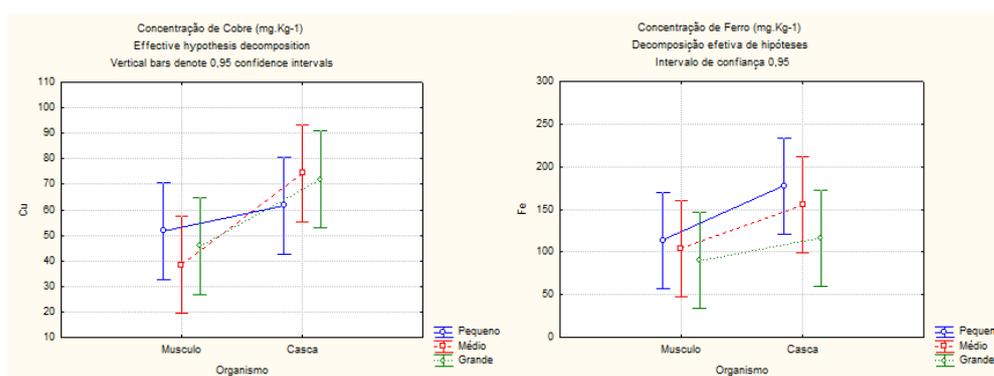
De acordo com dados apresentados na Figura 9, foram observados que os diferentes tamanhos de camarões capturados na lagoa do Imaruí apresentaram as seguintes características com relação aos metais essenciais:

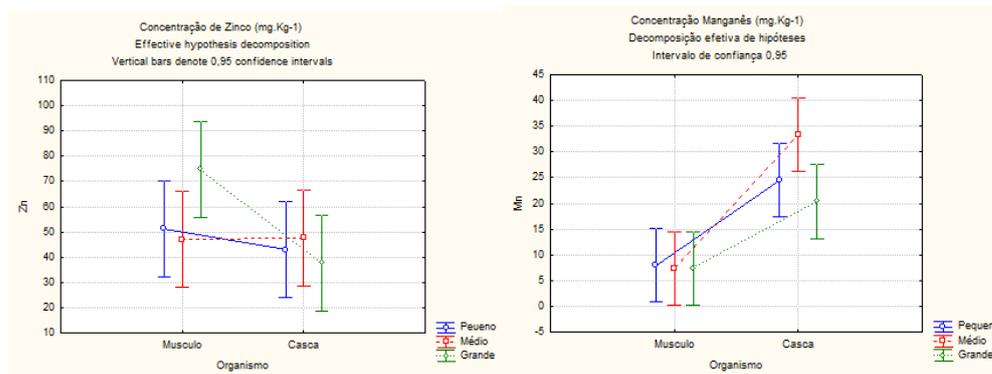
- Cobre: as carapaças apresentaram maior concentração quando comparados com os músculos. As cascas dos camarões grandes apresentaram uma absorção relativamente maior quando comparados com as cascas dos camarões médios e pequenos. Já a absorção entre os músculos, o organismo pequeno, teve menor nível de absorção.
- Ferro: a concentração de ferro tanto nos músculos quanto nas cascas nos tamanhos médios e grandes foram praticamente as mesmas. Diferente do tamanho pequeno, que mesmo considerado baixo, o músculo e a casca absorveram maior concentração de ferro.

- Zinco: a concentração de zinco foi o inverso dos demais metais essenciais. Nos três tamanhos em estudo, os músculos tiveram um poder de absorção maior quando comparados com as cascas. A variação dos músculos e cascas dos camarões pequenos foram relativamente pequenas. Nas cascas dos camarões médios e grandes a absorção foram praticamente as mesmas.
- Manganês: o manganês apresentou concentração entre os três tamanhos dos músculos dos camarões relativamente iguais. Já entre as cascas, o tamanho médio foi maior, seguida do pequeno e por último o grande.

Abaixo são apresentados os gráficos referentes as concentrações dos metais essenciais entre cascas e dos músculos dos camarões pequenos, médios e grandes, capturados da lagoa Mirim durante os meses de amostragem (Figura 10).

Figura 10 – Gráficos das médias dos níveis de concentração dos metais essenciais entre cascas e músculos pequenos, médios e grandes da lagoa Mirim para os camarões pequeno, médio e grande, analisados durante os meses de Nov/2017 a Abr/2018.





Fonte: Autora, 2019.

De acordo com dados apresentados na Figura 10, foram observados que os camarões capturados na lagoa do Mirim apresentaram as seguintes características com relação aos metais essenciais:

- Cobre: observou-se um comportamento semelhante com os resultados obtidos para os camarões capturados lagoa do Imaruí. Entretanto, as cascas dos camarões médios apresentaram concentrações relativamente maior, quando comparado com as cascas dos camarões pequenos. Entre os músculos, o tamanho pequeno absorve mais cobre quando comparado com os músculos dos camarões médios.
- Ferro: entre os músculos, os níveis de concentração entre os tamanhos foram relativamente baixos, sendo que, o tamanho pequeno absorveu mais ferro quando comparado com os músculos dos camarões grande, apresentado assim, o mesmo comportamento na lagoa do Imaruí.
- Zinco: a concentração de zinco foi diferente quando comparado com os resultados obtidos para lagoa do Imaruí. Os músculos dos camarões grandes absorvem mais zinco, seguido dos músculos pequenos e médios. Entre as cascas, nos três tamanhos a absorção de zinco são relativamente iguais.
- Manganês: o nível de concentração do manganês tanto nos músculos quanto nas cascas nos três tamanhos na Lagoa do Mirim, foram muito próximos quando comparados com os resultados obtidos para a lagoa do Imaruí.

#### 6.4.2 Metais não essenciais

Os resultados obtidos para as concentrações dos metais não essenciais para os músculos dos camarões capturados nas lagoas do Imaruí e Mirim, durante os meses de novembro de 2017 a abril de 2018, são apresentados na Tabela 15 e 16.

Tabela 15 – Análise de metais não essenciais nos músculos pequenos, médios e grandes, dos camarões capturados da lagoa Imaruí (peso seco) de novembro de 2017 a abril de 2018.

Metais (mg.Kg <sup>-1</sup> )	Nov/17	Dez/17	Jan/18	Fev/18	Mar/18	Abr/18
<b>Alumínio</b>	31,64 ± 18,29	52,37 ± 15,63	84,44 ± 18,78	48,84 ± 10,94	75,49 ± 1,58	37,83 ± 1,32
<b>Arsênio</b>	1,61 ± 0,06	2,78 ± 0,88	2,56 ± 0,68	1,88 ± 0,13	2,25 ± 0,81	2,53 ± 0,40
<b>Cádmio</b>	0,14 ± 0,006	0,22 ± 0,03	0,2 ± 0,04	0,18 ± 0,02	0,18 ± 0,024	0,18 ± 0,02
<b>Chumbo</b>	3,62 ± 1,87	1,08 ± 0,36	1,45 ± 0,99	0,14 ± 0,12	1,72 ± 0,19	1,72 ± 0,19
<b>Cromo</b>	2,79 ± 0,39	3,37 ± 0,79	2,651 ± 0,41	3,02 ± 1,67	3,48 ± 1,341	2,35 ± 0,79
<b>Mercúrio</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND

\*Todos os dados expressos em média ± desvio padrão

Tabela 16 – Análise de metais não essenciais nos músculos dos camarões pequenos, médios e grandes da lagoa Mirim (peso seco) de novembro de 2017 a abril de 2018.

Metais (mg.Kg <sup>-1</sup> )	Nov/17	Dez/17	Jan/18	Fev/18	Mar/18	Abr/18
<b>Alumínio</b>	48,85 ± 21,99	20,2 ± 3,60	53,66 ± 2,78	78,84 ± 19,72	41,05 ± 23,72	61,59 ± 15,46
<b>Arsênio</b>	1,51 ± 0,11	3,91 ± 0,26	1,59 ± 0,10	1,62 ± 0,19	2,16 ± 0,81	1,96 ± 0,57
<b>Cádmio</b>	0,15 ± 0,04	0,22 ± 0,05	0,24 ± 0,05	0,21 ± 0,047	0,21 ± 0,04	0,21 ± 0,04
<b>Chumbo</b>	2,08 ± 0,46	1,65 ± 1,26	0,49 ± 0,06	0,335 ± 0,20	1,14 ± 0,30	1,34 ± 0,33

<b>Cromo</b>	4,70 ± 1,93	4,79 ± 1,89	3,04 ± 0,17	4,95± 1,645	4,95 ± 1,65	3,62 ± 1,18
<b>Mercúrio</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND

\*Todos os dados expressos em média ± desvio padrão

De maneira geral, as concentrações para os metais não essenciais obtidos para os músculos dos camarões desidratados (peso seco) capturados nas duas lagoas, Imaruí e Mirim, foram todos abaixo de 5 mg Kg<sup>-1</sup>. Os menores valores da concentração foram observados para o elemento cádmio nas duas lagoas, onde a concentração (peso seco) variou de 0,144 mg Kg<sup>-1</sup> em novembro de 2017 para 0,20 mg Kg<sup>-1</sup> em janeiro de 2018 na lagoa de Imaruí, e para lagoa do Mirim a concentração do cádmio variou de 0,15 mg Kg<sup>-1</sup> em novembro de 2017 para 0,24 mg Kg<sup>-1</sup> em janeiro de 2018. Valores intermediário foram observados ao longo dos meses de coleta, conforme pode ser visualizado nas Tabelas 15 e 16.

As concentrações mais expressivas foram observadas nas duas lagoas para o elemento crômio. Na lagoa do Imaruí (Tabela 15) a concentração média observada ao longo dos seis meses foi de aproximadamente 3 mg Kg<sup>-1</sup>, e para lagoa do Mirim a concentração média obtida foi de 4,3 mg Kg<sup>-1</sup>. As maiores concentrações foram obtidas nos meses de fevereiro e março de 2018, com 3,4 mg Kg<sup>-1</sup> na lagoa do Imaruí e 4,95 mg Kg<sup>-1</sup> na lagoa do Mirim.

Para o elemento arsênio, o valor médio obtido para lagoa do Imaruí foi 2,26 mg Kg<sup>-1</sup>, sendo que maior valor foi observado em dezembro de 2017 com concentração de 2,78 mg Kg<sup>-1</sup> (Tabela 16). Na lagoa do Mirim o valor médio observado foi de 2,13 mg Kg<sup>-1</sup>, sendo menor quanto o valor médio obtido para os camarões capturados na lagoa do Imaruí (Tabela 16). Entretanto, o maior valor da concentração de arsênio também foi observado em dezembro de 2017, 3,91 mg Kg<sup>-1</sup>. O comportamento do As em águas estuarinas é complexo e ainda não está completamente compreendido. Na fração particulada, o arsênio pode estar associado às partículas inorgânicas, principalmente minerais, como oxi-hidróxidos de ferro, que podem ser provenientes do sedimento, erosão de solos, deposição, naturalmente presente no ambiente, especialmente em rochas, e por isso os músculos dos camarões analisados provavelmente vão apresentar presença deste elemento.

Para o chumbo o valor médio obtido para lagoa do Imaruí foi  $1,78 \text{ mg Kg}^{-1}$ , e a maior concentração foi observado em novembro de 2017 com concentração de  $3,62 \text{ mg Kg}^{-1}$ . Na lagoa do Mirim o valor médio observado foi de  $1,33 \text{ mg Kg}^{-1}$ , sendo que a maior concentração também foi observada em novembro de 2017,  $2,08 \text{ mg Kg}^{-1}$ . Estes valores podem estar relacionados com início da abertura da pesca. Provavelmente estes camarões estavam a mais tempo na lagoa e, por isso, a maior concentração desses metais presentes nos músculos dos camarões limpo em função da bioacumulação. Além disso, os pescadores utilizam bateria de chumbo na pesca de aviãozinho e muitas vezes essas baterias são perdidas em função dos ventos ou descartadas na própria lagoa, o que faz aumentar a concentração de chumbo na água. O chumbo tem afinidade por moléculas que tem átomos de nitrogênio e enxofre, ligando-se com relativa facilidade a proteínas e macromoléculas celulares, podendo, dessa forma, entrar no metabolismo do organismo do camarão.

Os resultados obtidos para a concentração de metais não essenciais nas carapaças dos camarões ao longo dos seis meses de estudo nas lagoas do Imaruí e Mirim, são mostrados nas tabelas 17 e 18.

Tabela 17 – Análise dos metais não essenciais presentes nas cascas dos camarões pequenos, médios e grandes, capturados da lagoa Imaruí (peso seco) de novembro de 2017 a abril de 2018.

<b>Metais (mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Nov/17</b>	<b>Dez/17</b>	<b>Jan/18</b>	<b>Fev/18</b>	<b>Mar/18</b>	<b>Abr/18</b>
<b>Alumínio</b>	84,31 ± 10,31	43,33 ± 5,31	56,35 ± 23,02	31,06 ± 27,47	46,59 ± 36,76	29,03 ± 10,08
<b>Arsênio</b>	1,09 ± 0,05	2,15 ± 0,35	3,68 ± 1,68	1,93 ± 0,34	2,45 ± 0,84	3,05 ± 1,14
<b>Cádmio</b>	0,17 ± 0,04	0,18 ± 0,07	0,24 ± 0,07	0,20 ± 0,06	0,20 ± 0,06	0,20 ± 0,06
<b>Chumbo</b>	5,53 ± 1,60	1,05 ± 0,37	7,31 ± 1,06	0,72 ± 0,26	6,02 ± 0,36	6,02 ± 0,36
<b>Cromo</b>	0,07 ± 0,098	1,35 ± 0,30	8,15 ± 6,23	4,31 ± 3,35	4,31 ± 3,34	4,30 ± 3,34
<b>Mercúrio</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND

\*Todos os dados expressos em média ± desvio padrão

Tabela 18 – Análise de metais não essenciais presentes nas cascas dos camarões pequenos, médios e grandes capturados da lagoa Mirim (peso seco) de novembro de 2017 a abril de 2018

<b>Metais (mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Nov/17</b>	<b>Dez/17</b>	<b>Jan/18</b>	<b>Fev/18</b>	<b>Mar/18</b>	<b>Abr/18</b>
<b>Alumínio</b>	114,32 ± 15,10	16,40 ± 8,19	69,01 ± 57,71	42,21 ± 20,60	38,87 ± 23,15	117,19 ± 23,14
<b>Arsênio</b>	1,25 ± 0,20	5,50 ± 3,04	1,297 ± 0,03	1,51 ± 0,161	2,38 ± 0,80	2,60 ± 1,00
<b>Cádmio</b>	0,17 ± 0,06	0,36 ± 0,08	0,29 ± 0,06	0,27 ± 0,05	0,27 ± 0,05	0,27 ± 0,04
<b>Chumbo</b>	4,71 ± 4,21	2,82 ± 0,50	0,81 ± 0,15	0,83 ± 0,40	2,29 ± 1,05	2,66 ± 1,22
<b>Cromo</b>	0,40 ± 0,23	2,50 ± 0,3	2,23 ± 1,49	1,94 ± 0,70	1,94 ± 0,70	1,94 ± 0,70
<b>Mercúrio</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND

\*Todos os dados expressos em média ± desvio padrão

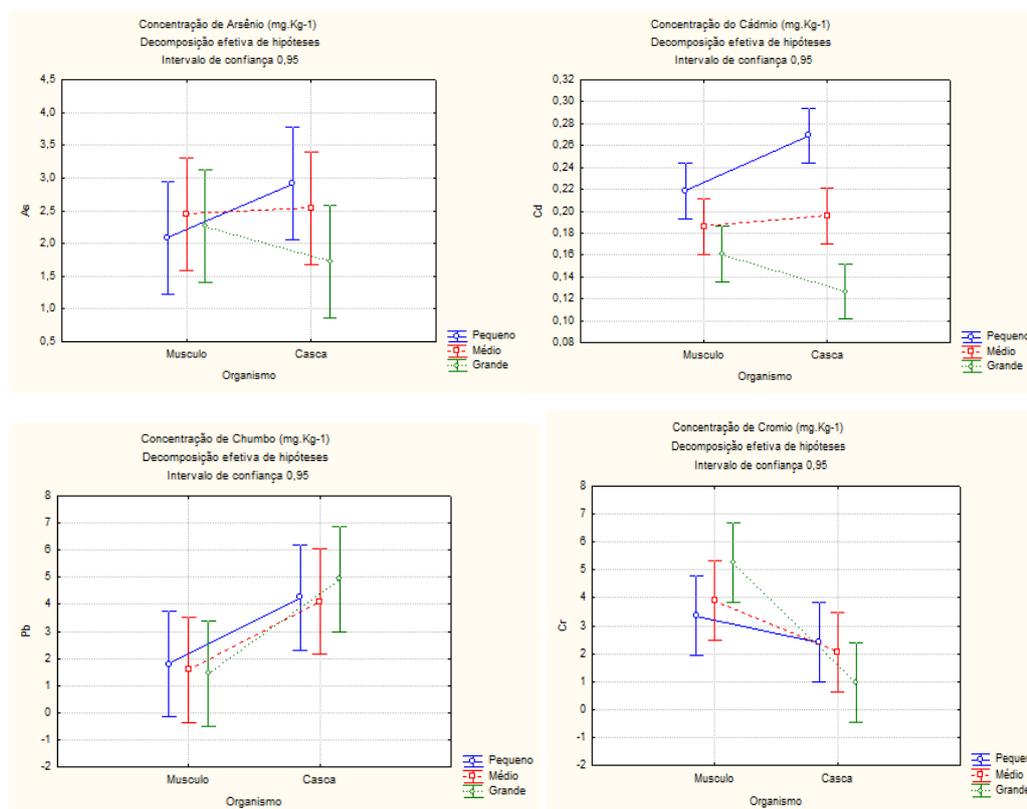
De modo geral, a concentração de metais não essenciais nas cascas dos camarões é levemente maior quando comparados com os resultados obtidos para os músculos, independentemente do metal e da amostra analisada. Para as cascas, os menores valores foram observados para o elemento cádmio nas duas lagoas, onde a concentração (peso seco) variou de 0,17 mg Kg<sup>-1</sup> em novembro de 2017 para 0,24 mg Kg<sup>-1</sup> em janeiro de 2018 na lagoa de Imaruí, e na lagoa do Mirim variou de 0,17 mg Kg<sup>-1</sup> em novembro de 2017 para 0,36 mg Kg<sup>-1</sup> em janeiro de 2018. As concentrações mais expressivas foram obtidas para os metais crômio e chumbo. Para o chumbo a maior concentração foi 7,31 mg Kg<sup>-1</sup> e o crômio 8,15 mg Kg<sup>-1</sup> observada em janeiro 2018 na lagoa do Imaruí. Na lagoa do Mirim, os valores foram menores para concentração chumbo e crômio em todas as amostras analisadas.

Para o elemento arsênio, o valor médio obtido para carapaça do camarão capturados na lagoa do Imaruí foi 2,39 mg Kg<sup>-1</sup>, sendo que maior valor de concentração foi observado em dezembro de 2017 com concentração de 3,68 mg Kg<sup>-1</sup> (Tabela 17). Na lagoa do Mirim, o valor médio observado foi de 2,42 mg Kg<sup>-1</sup>,

sendo que a maior concentração foi  $5,50 \text{ mg Kg}^{-1}$  observado em dezembro de 2017 (Tabela 18).

Na Figura 11 são mostrados a concentração dos metais não essenciais para as carapaças e para os músculos dos camarões de tamanhos pequenos, médios e grandes, capturados na lagoa do Imaruí durante o período de estudo.

Figura 11 – Gráficos das médias dos níveis de concentração dos metais não essenciais entre cascas e músculos dos camarões pequenos, médios e grandes da lagoa Imaruí, analisados durante os meses de Nov/2017 a Abr/2018.



Fonte: Autora, 2019.

De acordo com dados apresentados na Figura 11, foram observados que os camarões capturados na lagoa do Imaruí apresentaram as seguintes características com relação aos metais não essenciais:

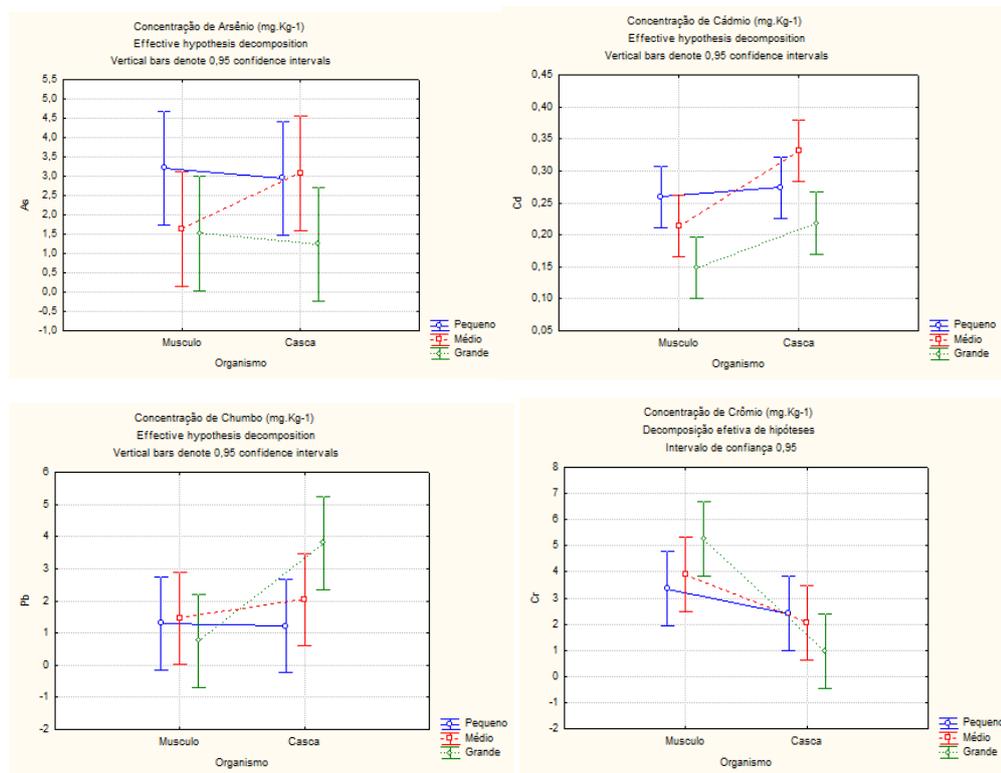
- Arsênio: o músculo dos camarões médios apresentou uma maior concentração de arsênio, seguida o músculo grande e pequeno. Nas cascas foram observadas que os níveis de concentração de arsênio

entre as carapaças, nos tamanhos pequenos concentração é mais elevado, seguido dos tamanhos médios e grandes.

- Cádmiu: as concentrações do cádmio foram bem distintas, entre os diferentes tamanhos dos camarões. A concentração das cascas e músculos pequenos são bem maiores quando comparadas as cascas e músculos dos camarões médios e grandes.
- Chumbo: a concentração de chumbo pelos músculos dos camarões nos três tamanhos foi pequenas e relativamente igual. Entretanto, as cascas apresentaram concentrações maiores em relação aos músculos, principalmente no tamanho grande.
- Cromo: o músculo grande teve maior concentração, seguidas do médio e pequeno, respectivamente. Entre as carapaças, ocorre ao contrário, as maiores concentrações foram encontradas nas cascas dos camarões menores, seguidos pelas cascas dos camarões médios, e por fim, as cascas dos camarões maiores.

Na Figura 12, são mostrados a concentração dos metais não essenciais para as carapaças e nos músculos dos camarões pequeno, médio e grande capturados na lagoa do Mirim durante o período de estudo.

Figura 12 – Gráficos das médias dos níveis de concentração dos metais não essenciais entre cascas e músculos dos camarões pequenos, médios e grandes da lagoa Mirim, analisados durante os meses de Nov/2017 a Abr/2018



Fonte: Autora, 2019.

De acordo com dados apresentados na Figura 12, foram observados que os camarões pequeno, médio e grande capturados na lagoa do Mirim apresentaram as seguintes características com relação aos metais não essenciais:

- **Arsênio:** a concentração de arsênio na lagoa do Mirim teve um comportamento diferente quando comparado com os resultados obtidos para Imaruí. Os músculos dos camarões pequenos, as concentrações de arsênio foram mais elevadas quando comparados com os camarões médios e grandes. A concentração da casca média e pequena são relativamente iguais. Entre os músculos, o tamanho grande sua concentração é menor, comportamento semelhante observado para na lagoa do Imaruí.
- **Cádmio:** apresentou um comportamento semelhante quando comparado com os resultados obtidos para lagoa do Imaruí. Na lagoa

do Mirim, as concentrações dos músculos e nas cascas dos camarões pequenos foram bem próximas. Já os músculos médio e grande tiveram uma concentração menor, principalmente no músculo grande. Enquanto nas cascas dos camarões médios, a concentração de cádmio foi mais elevada em relação as cascas dos camarões maiores.

- Chumbo: as concentrações de chumbo nos organismos em estudo na lagoa do Mirim, foram semelhantes as análises dos organismos da lagoa do Imaruí, onde os músculos pequenos e médios tiveram seus níveis de concentrações semelhantes, quando comparado ao músculo grande. Já para as cascas grandes, o nível de concentrações é mais elevado do que a casca média e pequena, respectivamente.
- Cromo: assim como o chumbo, as concentrações do cromo foram semelhantes aos resultados da lagoa do Imaruí. O músculo grande, as concentrações se destacaram quando comparados com os outros tamanhos. E, ocorre o oposto entre as cascas. As de tamanhos pequenos apresentaram maiores concentrações em relação aos demais tamanhos.

Importante mencionar que os limites máximos estabelecidos pelas agências de saúde ainda são focos de discussão, pois dependem de vários fatores externos que vão desde o modo de captura do animal a ser analisado até o tipo de equipamento que é utilizado para a leitura, passando pelos processos de estocagem, pesagem e preparo das amostras em análise (VIRGA, R. H. P.; GERALDO, L. P.; SANTOS, F. H.; 2007).

Assim, combinando os resultados das concentrações dos contaminantes em alimentos e os limites estimados de consumo (refeições / semana) são de grande relevância com vistas a avaliar o equilíbrio entre benefícios e riscos.

Deste modo, podemos observar que os resultados obtidos, nos permite ter uma dimensão da situação dos níveis de concentrações de metais pesados nos camarões capturados nas lagoas Imaruí e Mirim, contribuindo com informações importantes sobre os limites, considerando sua toxicidade para a saúde pública por seu vasto consumo e reconhecido nacionalmente.

### 6.4.3 Metais não essenciais: Aspecto de consumo humano

Para comparação com os limites máximos de metais permitidas pela Legislação Brasileira, ANVISA - RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA – RDC Nº 42, DE 29 DE AGOSTO DE 2013, que dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL, os limites dos contaminantes inorgânicos em alimentos são mostrados na Tabela 19.

Nos critérios gerais desta resolução relata que os conteúdos máximos se aplicam aos produtos no estado em que são oferecidos ao consumidor. Para produtos, elaborados a partir de ingredientes com limites estabelecidos no presente regulamento e que tenham sido desidratados, diluídos, transformados ou compostos por um ou mais ingredientes, os conteúdos máximos permitidos devem ser deduzidos dos fatores específicos de concentração e diluição, com relação aos limites estabelecidos para os ingredientes, que deverão ser fornecidos no momento em que a autoridade competente os solicitar. Quando são aplicados os limites máximos estabelecidos aos produtos alimentícios desidratados ou secos, diluídos, transformados ou compostos por um ou mais ingredientes, deve-se considerar o seguinte:

- a) As mudanças de concentração do contaminante decorrentes dos processos de desidratação, secagem ou diluição;
- b) As mudanças de concentração do contaminante decorrentes dos processos de transformação;
- c) As proporções relativas dos ingredientes no produto;
- d) O limite analítico de quantificação.

Nesta resolução fica estabelecido conteúdo máximo de contaminantes inorgânicos, especialmente metais como arsênio, chumbo, cádmio e mercúrio em crustáceos, onde excluem-se a cabeça e o tórax. Assim, para comparação com as concentrações máximas de metais permitidas, as concentrações de metais serão expressas em peso úmido, calculado com base em umidade média de 71,74% para o músculo da lagoa Imaruí e 75,07% para o músculo da lagoa Mirim.

Tanto para os camarões capturados na lagoa do Imaruí como para os camarões capturados na lagoa do Mirim, foram encontradas concentrações médias abaixo dos limites máximos permitido pela legislação para arsênio, cádmio e mercúrio, exceto para chumbo no mês de novembro de 2017 (Tabela 19).

Tabela 19 – Valores médios das concentrações dos metais não essenciais presentes nos camarões capturados da lagoa Imaruí e Mirim, e os limites máximos permitidos pela legislação.

<b>Contaminante Inorgânico</b>	<b>Conc. Média (Lagoa do Imaruí)</b>	<b>Conc. Média (Lagoa do Mirim)</b>	<b>Limite Máximo Permitido – ANVISA<sup>1</sup> (mg kg<sup>-1</sup>)</b>
Arsênio (mg kg <sup>-1</sup> )	0,64	0,53	1,0
Cádmio (mg kg <sup>-1</sup> )	0,051	0,052	0,5
Chumbo (mg kg <sup>-1</sup> )	0,50	0,333	0,5
Mercúrio (mg kg <sup>-1</sup> )	ND	ND	0,5

<sup>1</sup>ANVISA - resolução da diretoria colegiada – RDC nº 42, de 29 de agosto de 2013

Para o Arsênio o limite máximo permitido é 1,0 mg Kg<sup>-1</sup> e os valores médios encontrado para os camarões capturados na lagoa Imaruí 0,64 mg Kg<sup>-1</sup>, sendo que a maior concentração foi observada em dezembro de 2017 foi 0,79 mg Kg<sup>-1</sup>. Resultados semelhantes foram obtidos para o arsênio na lagoa do Mirim, onde o valor médio foi de 0,53 mg Kg<sup>-1</sup>, com a maior concentração de 0,97 mg Kg<sup>-1</sup>, obtida em dezembro de 2017.

Para o Cádmio e Chumbo o limite máximo permitido é de 0,5 mg Kg<sup>-1</sup>, sendo que os valores médios obtidos para cádmio 0,051 mg Kg<sup>-1</sup> para os camarões capturados na lagoa do Imaruí. Os valores mais expressivos para cádmio foram obtidos no mês de janeiro de 2017, com concentração 0,067 mg Kg<sup>-1</sup>. Para a lagoa do Mirim o valor médio obtido para cádmio foi 0,052 mg Kg<sup>-1</sup>, sendo que a maior concentração (0,089 mg Kg<sup>-1</sup>) foi observada em janeiro de 2017.

A concentração de chumbo apresentou-se acima dos limites máximos permitido pela legislação para os músculos dos camarões capturados nas duas lagoas no mês de novembro de 2017. Importante mencionar que o músculo (camarão limpo) é a forma mais amplamente consumida pela população, e ainda não há dados de especiação para o local de estudo, podendo, portanto, apresentar sinal de alerta de risco aos consumidores, em função dos efeitos do chumbo em modificar o metabolismo humano. Outro ponto a ser considerado é que os pescadores utilizam bateria de chumbo na pesca de aviãozinho e muitas vezes essas baterias são descartadas ou arremessadas pelos ventos na própria lagoa, o que faz aumentar a concentração de chumbo nos sedimentos. A concentração

média obtida para o chumbo nos camarões capturados na lagoa do Imaruí foi 0,50 mg Kg<sup>-1</sup>, sendo que a maior concentração foi observada em novembro de 2017, com valor de 1,02 mg Kg<sup>-1</sup> (acima do limite máximo permitido). Para os músculos dos camarões capturados na lagoa do Mirim, o valor médio obtido para o chumbo foi de 0,333 mg Kg<sup>-1</sup>, sendo que a maior concentração foi observada em novembro de 2017, com valor de 0,52 mg Kg<sup>-1</sup> (acima do limite máximo permitido).

## 7 CONCLUSÃO

Dentre as diversas bacias hidrográficas do Estado de Santa Catarina, destaca-se a do rio Tubarão e Complexo Lagunar. Além dos problemas comuns às outras bacias brasileiras, como conflitos em seu uso e ocupação, a bacia do rio Tubarão e Complexo Lagunar distingue-se das demais bacias por ser considerada poluída. Através dos resultados obtidos para água, sedimentos e camarões capturados nas lagoas do Imaruí e Mirim podemos concluir:

- Águas: através de análises físico-químicas, foi determinado o índice de qualidade das águas das lagoas do Imaruí e Mirim. Através dos resultados, concluiu-se que as duas lagoas, conforme NSF (National Sanitation Foundation), apresentaram qualidade da água Boa/Ótima, com valores médios de 78,83 para a lagoa do Imaruí e 78,14 para a lagoa do Mirim. Os metais pesados analisados nas águas demonstraram concentrações abaixo dos limites máximos permitidos pela legislação CONAMA 357, exceto o arsênio, onde os valores variaram de 0,01 a 0,06 mg L<sup>-1</sup> durante os meses de coleta.
- Sedimentos e carapaças: independentes das lagoas em estudos, tanto os sedimentos quanto as carapaças dos camarões obtiveram maiores concentrações de metais pesados, destacando-se alumínio e ferro. Tanto o alumínio quanto o ferro sedimentam e acabam se depositando no lodo. Os camarões consomem esses metais pois se alimentam desses microrganismos que habitam nos sedimentos. Por terem um poder de absorção em função da sua composição, as carapaças impedem maiores contaminações e bioacumulações de metais pesados nos músculos.
- Músculos dos camarões: entre as concentrações dos metais essenciais, o ferro teve maior absorção nas duas lagoas em estudo. As concentrações médias de ferro obtidas para os músculos dos camarões capturados na lagoa do Imaruí foi 114,91 mg kg<sup>-1</sup> e para os músculos dos camarões capturados na lagoa do Mirim os resultados foram muito semelhantes, onde a concentração média do ferro foi 102,64 mg kg<sup>-1</sup>. Entretanto, para os metais não essenciais, os valores

observados foram menos relevantes, ficando todos abaixo dos limites máximos permitidos pela legislação, exceto para chumbo que apresentou na lagoa do Imaruí uma concentração de  $1,02 \text{ mg Kg}^{-1}$  e  $0,52 \text{ mg.Kg}^{-1}$  na lagoa do Mirim no mês de novembro de 2017, sendo que o limite máximo estabelecido pela legislação brasileira (ANVISA nº 42) é  $0,50 \text{ mg.Kg}^{-1}$ .

Apesar de todas diversidades que causam as contaminações por metais pesados (causas naturais, atividades antropogênicas etc.) na região, de forma geral, pode-se concluir que as lagoas do Imaruí e Mirim, apresentaram boa qualidade dos pescados (camarões). Mas, vale levantar uma alerta sobre as contaminações de metais pesados nos pescados em geral, especialmente arsênio e chumbo.

Não existe até o momento um levantamento ou dados na literatura científica relacionando os parâmetros de contaminação químicas (traços metálicos) e/ou físico-químicas da água, sedimentos ou nos camarões ao longo do tempo nas lagoas do Complexo Lagunar.

Diante dos fatos, os resultados obtidos contribuem para alertar dos limites de consumo de alguns metais pesados, e para elaboração de um plano de conservação desse sistema Lagunar. É fundamental a realização de um trabalho entre os pescadores, moradores e turistas que utilizam esse corpo hídrico, afim contribuir com ações de manutenção e preservação desse ecossistema. Além disso, uma educação e conscientização do descarte das baterias, através de um estudo interdisciplinar para investigar os níveis de contaminações de metais pesados tanto por causas naturais quanto antrópicas.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILANCIA SANITÁRIA (Brasil).

**Resolução Da Diretoria Colegiada** –Dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos. Ministério da Saúde, Brasília, DF, RDC Nº 42, de 29 de agosto de 2013.

ALVES-COSTA, F.A.; COSTA, R. C. Níveis de metais pesados no camarão-rosa *Farfantepenaeus brasiliensis* (Crustacea, Decapoda) na enseada de Ubatuba, Ubatuba, São Paulo. **Rev. biociên**, Taubaté, v.10, n.4, p.199-203, out./dez. 2004.

ANBUSELVAN N.; SENTHIL, N.D.; SRIDHARAN M. Heavy metal assessment in surface sediments off Coromandel Coast of India: Implication on marine pollution. **Marine Pollution Bulletin**, v. 131, p. 712-726, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.04.074>. Acesso em: 29 out.2018.

ARULKUMAR, A.; PARAMASIVAM, S.; RAJARAM, R. Toxic heavy metals in commercially important food fishes collected from Palk Bay, Southeastern India. **Marine Pollution Bulletin**. v. 119, p. 454 – 459, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.03.045>. Acesso em: 08 mar.2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9898**: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

BALTAS, H.; KIRIS, E.; SIRIN, M., Determination of radioactivity levels and heavy metal concentrations in seawater, sediment and anchovy (*Engraulis encrasicolus*) from the Black Sea in Rize, Turkey. **Marine Pollution Bulletin**, v. 116, p. 528-533, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.016>. Acesso em: 08 ago. 2018.

BÁRCENA, J.F. *et al.* A method to assess the evolution and recovery of heavy metal pollution in estuarine sediments: Past history, present situation and future perspectives. **Marine Pollution Bulletin**, v. 124, p. 421-434, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.07.070>. Acesso em: 08 mar. 2018.

BAKI, A. M. *et al.* Concentration of heavy metals in seafood (fishes, shrimp, lobster and crabs) and human health assessment in Saint Martin Island, Bangladesh. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. v. 159, p. 153-163, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.04.035>. Acesso em: 08 ago. 2018.

BHAUIYAN, M. AH. *et al.* Heavy metal pollution from agricultural land affected by coal mines in the northern part of Bangladesh. *Journal of Hazardous Materials*. v. **173**, p. **384 – 392**, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.08.085>. Acesso em: 12 mar.2019.

BI, S.; *et al.* Distribution of heavy metals and environmental assessment of surface sediment of typical estuaries in eastern China. **Marine Pollution Bulletin**, v. 121, p. 357-366, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.013>. Acesso em: 08 mar. 2018.

BONSIGNORE, M. *et al.* Marine pollution in the Libyan coastal area: Environmental and risk Assessment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 128, p. 340–352, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.043>. Acesso em: 07 set. 2018.

BOUCHOUCHA, *et al.* Growth, condition and metal concentration in juveniles of two *Diplodus* species in ports. **Marine Pollution Bulletin**, v.126, p. 31-42, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.10.086>. Acesso em: 08 ago. 2018.

BRADL, H. B. Metais Pesados no Meio Ambiente: Origem, Interação e Remediação. *In*: BRADL, H. B. (ed.). **Science and Technology Interface**. Amsterdã: Elsevier, 2005. Cap.1, p. 1-27.

CABRINI, *et al.* Heavy metal contamination in sandy beach macrofauna communities from the Rio de Janeiro coast, Southeastern Brazil. **Environmental Pollution**, v. 221, p. 116-129, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.053>. Acesso em: 08 set. 2017.

CAMPOS, R. C. *et al.* **Elementos-traços em águas subsuperficiais da Bacia de Campos**. Química Ambiental, Elsevier Brasil, 2017. ISBN 978-85-352-7563-6. **E-book**. <https://doi.org/10.1016/B978-85-352-7563-6.50013-2>

CASTELLO, J. P. O futuro da pesca da aquicultura marinha no Brasil: a pesca costeira. **Ciência e Cultura**, São Paulo, 2010. p. 32-35.

CEBE, K.; BALAS, L. Monitoring and modeling land-based marine pollution. **Regional Studies in Marine Science**, 2018. No prelo. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2018.06.010>. Acesso em: 30 out. 2018.

CHENG, Z. *et al.* Trophic relationships and health risk assessments of trace metals in the aquaculture pond ecosystem of Pearl River Delta, China. **Chemosphere**, v. 90, p. 2142-2148, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.11.017>. Acesso em: 12 nov. 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 53, p.58-63, 18 mar. 2005.

COPAT, C. *et al.* Heavy metals concentrations in fish and shellfish from eastern Mediterranean Sea: Consumption advisories. **Food and Chemical Toxicology**. v. 53, p. 33 – 37, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2012.11.038>. Acesso em: 08 mar. 2018.

DARMONO, D.; DENTON, G.R.W. Heavy metal concentrations in the banana prawn, *Penaeus merguensis*, and leader prawn, *P. monodon*, in the townsv region of Australia. **Environmental Contamination and Toxicology**, v. 44, p. 479 – 486, 1990. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF01701233>. Acesso em: 20 mar.2019

DOI, A.S. *et al.* Efeito do chumbo em nível de oxigênio e amônia no camarão rosa (*Farfantepenaeus paulensis*) em relação à salinidade. **O Mundo da Saúde, São Paulo**, v. 36, p. 594-601, 2012.

FAKHRI *et al.* Systematic review and health risk assessment of arsenic and lead in the fished shrimps from the Persian gulf. 2018. **Food and Chemical Toxicology**. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.01.046>. Acesso em: 15 ago. 2018.

FERREIRA, A. P.; HORTA, M. A.; CUNHA, C. de L. N. da. Assessment of heavy metal concentrations in sediment, water and organs of *Nycticorax nycticorax* (Black-crowned Night Heron) in Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 10, n. 2, p. 229-241, 2010.

FRANKLIN, B.J. *et al.* Seawater quality conditions of the south Andaman Sea (Bay of Bengal, Indian Ocean) in lustrum during 2010s decade. **Marine Pollution Bulletin**, v. 136, p. 424-434, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.09.038>. Acesso em: 25 abr. 2018.

FRIEDLANDER, M. A. Marine conservation in Oceania: Past, present, and future. **Marine Pollution Bulletin**, v. 135, p. 139-149, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.064>. Acesso em: 30 out.2018.

FUNGARO, A. D.; IZIDORO, C. J. Remediação de drenagem ácida de mina usando zeólitas sintetizadas a partir de cinzas leves de carvão. **Química Nova**, v.29, n.4, p. 735-740, 2006.

GAO, Y. *et al.* Arsenic speciation in fish and shellfish from the North Sea (Southern bight) and Açú Port area (Brazil) and health risks related to seafood Consumption. **Chemosphere**, v. 191, p. 89-96, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.031>. Acesso em: 17 mai. 2018.

GARCIA, G. J.; NIENCHESKI. H. L.F. Avaliação Temporal da acumulação de elementos traço no camarão rosa *Farfantepenaeus paulensis* no estuário da Lagoa dos Patos, RS, Brasil. **Tropical Oceanography**, Recife, v. 40, n. 2, p. 327-339, 2012. Disponível em: ISSN: 1679-3013 D.O.I.: 10.5914/to.2011.0077. Acesso em: 26 set.2017.

GIANNINI, P. C. F. *et al.* Interações entre evolução sedimentar e ocupação humana pré-histórica Na costa centro-sul de Santa Catarina, Brasil. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Hum**, Belém, v. 5, n. 1, p. 105-128, jan./abr. 2010.

GUHATHAKURTA, H; KAVIRAJ, A. Heavy Metal Concentration in Water, Sediment, Shrimp (*Penaeus monodon*) and Mullet (*Liza parsia*) in Some Brackish Water Ponds of Sunderban, India. **Marine Pollution Bulletin**. v. 40, p. 914 – 920, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00028-X](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00028-X). Acesso em: 21 mai. 2019.

IRIZUKI, T. *et al.* Ecological shifts due to anthropogenic activities in the coastal seas of the Seto Inland Sea, Japan, since the 20th century. **Marine Pollution Bulletin**, v. 127, p. 637–653, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.050>. Acesso em: 07 set. 2018.

ISAM. IQAnsf: **Índice de qualidade das águas**. Manual do software IQA 5.0. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 30 p. 1999.

JESUS, H. C de. *et al.* Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da ilha de Vitória – ES. **Quim. Nova**, v. 27, p. 378-386, 2004. Acesso em: 26 set. 2017.

KAVCAR, P. *et al.* A health risk assessment for exposure to trace metals via drinking water ingestion pathway. **International Journal Of Hygiene And Environmental Health**. v. 212, p. 216 – 227, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2008.05.002>. Acesso em: 12 mar. 2019.

KLJAKOVIC´ -GAŠPIC, Z. *et al.* Biomonitoring of organochlorine compounds and trace metals along the Eastern Adriatic coast (Croatia) using *Mytilus galloprovincialis*. **Marine Pollution Bulletin**. v. 60, p. 1879 – 1889, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.07.019>. Acesso em: 15 mar. 2019.

KESHAVARZI, B. *et al.* Heavy metal contamination and health risk assessment in three commercial fish species in the Persian Gulf. **Marine Pollution Bulletin**, 2018. v. 129, p. 245-252, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.02.032>. Acesso em: 08 ago. 2018.

LAUWERYS, H. *et al.* Significance of cadmium concentration in blood and in urine in workers exposed to cádmium. **Environmental Research**. v. 20, p. 375 – 391, 1979. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0013-9351\(79\)90014-8](https://doi.org/10.1016/0013-9351(79)90014-8). Acesso em: 12 mar. 2019.

LI, Y; LIN, Y; WANG, L. Distribution of heavy metals in seafloor sediments on the East China Sea inner shelf: Seasonal variations and typhoon impact. **Marine Pollution Bulletin**, 2018. V 129, p. 534-544, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.10.027>. Acesso em: 08 ago. 2018.

LIMA, M. C. *et al.* Especificação de cobre e chumbo em sedimento do rio Tubarão (SC) pelo método Tessier. **Química Nova**, v. 24, n. 6, p. 734-742, 2001.  
LIU, Q.; LIAO, Y.; SHOU, L. Concentration and potential health risk of heavy metals in seafoods collected from Sanmen Bay and its adjacent areas, China. **Marine Pollution Bulletin**, v. 131, p. 356-364, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.04.041>. Acesso em: 08 ago. 2018.

LU, J. LI, A.; HUANG, P. Distribution, sources and contamination assessment of heavy metals in surface sediments of the South Yellow Sea and northern part of the East China Sea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 124, p. 470-479, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.07.007>. Acesso em: 06 set. 2017.

MAKEDONSKI, L.; PEYCHEVA, K.; STANCHEVA, M., Determination of some heavy metal of selected Black Sea Fish species. **Food Control**, v. 72, p. 313-318, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.024>. Acesso em: 23 set. 2017.

MORGANO, M. A. *et al.* Inorganic contaminants (As, Cd, Cr, Hg and Pb) in fish species. **Rev Inst Adolfo Lutz**, v. 70, p. 497-506, 2011.

NASCIMENTO, R. J. *et al.* Bioaccumulation of heavy metals by shrimp (*Litopenaeus schmitti*): A dose–response approach for coastal resources management. **Marine Pollution Bulletin**, 2016. v. 114, p. 1007-1013, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.11.013>. Acesso em: 08 mar. 2018.

NASCIMENTO, R. J. *et al.* Trace metal distribution in white shrimp (*Litopenaeus schmitti*) tissues from a Brazilian coastal área. **Springer Berlin Heidelberg**. (2016) 75: 990. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5798-8>. Acesso em: 22 ago. 2017.

NETTO, S. A. *et al.* Benthic Estuarine Assemblages from the Southern Brazilian Marine Ecoregion. **Springer, Cham**. 2018. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-77779-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-77779-5_6). Acesso em: 20 jun. 2019.

OTT, W.R. Environmental indices: theory and practice. Ann Arbor Science Pub. Inc., Ann Arbor/MICH(EUA), 371p. 1978.

PHILLIPS, D. J. H. The use of biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments: a review. **Environment Pollutions**, v.13, p. 281-317, 1977.

PINTO, A.M.T.P.; HIRDES, I.M.; SANCHES FILHO, P.J. Determinação de metais pesados nos camarões (*Farfantepenaeus paulensis*) consumidos na cidade de Pelotas-RS. **Ecotox – Brasil**, v. 8, p. 129-134, 2013. Disponível em: doi: 10.5132/eec.2013.01.019. acesso em: 04 out. 2017.

POLETTI, Naracelis. **Curso Técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio**: Culturas Anuais. Sombrio: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, p.165, 2012.

POURANG, N. *et al.* Trace elements accumulation in edible tissues of five sturgeon species from the caspian sea. **Environmental Monitoring and Assessment**. v. 100, p. 89 – 108, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-005-7054-7>. Acesso em: 15 mar.2019

QU, B. *et al.* Intensive anthropogenic activities had affected Daya Bay in South China Sea since the 1980s: Evidence from heavy metal contaminations. **Marine Pollution Bulletin**, v. 135, p. 318-331, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.07.011>. Acesso em: 23 set. 2018.

RAGI, A.S. *et al.* Heavy metal concentrations in some gastropods and bivalves collected from the fishing zone of South India. **Marine Pollution Bulletin**. v. 118, p. 452 – 458, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.03.029>. Acesso em: 18 nov. 2017.

RAINBOW, P. S. Trace metal bioaccumulation: models, metabolic availability and toxicity. **Environment International**, v. 33, p. 576–582, 2007  
SANTA CATARINA. Secretaria do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. **Bacias Hidrográficas do Estado de Santa Catarina**: diagnóstico. Florianópolis, 1997.

SARKAR, T. *et al.* Assessment of heavy metals contamination and human health risk in shrimp collected from different farms and rivers at Khulna-Satkhira region, Bangladesh. **Toxicology Reports**. v. 3, p. 346-350, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.toxrep.2016.03.003>. Acesso em: 08 ago. 2017.

SARKAR, S.K. **Trace Metals in a Tropical Mangrove Wetland**. [Singapura]: Springer, 2018. ISBN 978-981-10-2793-2. E-book. Disponível em: DOI 10.1007/978-981-10-2793-2\_1. Acesso em: 12 nov. 2017.

SHAKOURI, A.; GHEYTASI, H. Bioaccumulation of heavy metals in oyster (*Saccostrea cucullata*) from Chabahar bay coast in Oman Sea: Regional, seasonal and size-dependent variations. **Marine Pollution Bulletin**, v. 126, p. 323-329, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.012>. Acesso em: 08 ago. 2018.

SILVA, Tânia dos Santos. **Desenvolvimento de métodos espectrométricos para determinação de contaminantes inorgânicos (arsênio, cádmio, chumbo e mercúrio) em peixe**. 2014. 89 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Rio de Janeiro. UFRJ, 2014.

SPANOPOULOS-Zarco, P., RUELAS-Inzunza, J., MEZA-Montenegro, M. *et al.* Assessment of health risks caused by mercury levels in porcatcha fish species off the coast of Guerrero, Mexico (East Pacific). **Touro Environ Contam Toxicol**. v. 93, p. 334, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00128-014-1311-9>. Acesso em: 12 mar.2019.

STRAIF, K. *et al.* A review of human carcinogens—Part C: metals, arsenic, dusts, and fibres. **Special Report: Policy**. v. 10, p. 453 – 454, 2009. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(09\)70134-2](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(09)70134-2). Acesso em: 15 mar. 2019.  
STRECK, N. A. *et al.*; 2008. O fenômeno El Niño Oscilação Sul e a variabilidade interanual da evaporação do tanque Classe A e da umidade relativa do ar em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**. v. 38, p. 1452-1455, 2008. Disponível em: DOI: 10.1590/S0103-84782008000500041. Acesso em: 20 mai.2019.

SUNYE, Patrícia Sfair *et al.* A pesca do camarão-rosa no sistema estuarino de Laguna, SC; História e acasos das políticas de manejo. *In:* HAIMOVICI, Manoel; ANDRIGUETTO FILHO, José Milton; SUNYE, Patricia Sfair (org.). **A Pesca Marinha e Estuarina no Brasil: estudos de casos multidisciplinares**. Rio Grande: Ed. Furg, 2014. Cap. 7, p. 75–85.

TAYLOR, David L.; CALABRESE, Nicholas M. Mercury content of blue crabs (*Callinectes sapidus*) from southern New England coastal habitats: Contamination in an emergent fishery and risks to human consumers. **Marine Pollution Bulletin**, v. 126, p. 166–178, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.10.089>. Acesso em: 08 ago. 2018.

TIWARI, A. K. *et al.* Estimation of Contamination of Heavy Metals in Groundwater and Development of a Heavy Metals Pollution Index Using the GIS Technique. **Touro Environ Contam Toxicol**. v. 96, p. 508 – 515, 2016 disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00128-016-1750-6>. Acesso em: 12 mar. 2019.

VIRGA, R. H. P.; GERALDO, L. P.; SANTOS, F. H. dos. Avaliação de contaminação por metais pesados em amostras de siris azuis. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 27, p. 779-785, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cta/v27n4/17.pdf>. Acesso em: 04 out. 2017.

WANG, X. *et al.* Biological risk assessment of heavy metals in sediments and health risk assessment in bivalve mollusks from Kaozhouyang Bay, South China. **Marine Pollution Bulletin**, v. 133, p. 312-319, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.059>. Acesso em: 08 ago. 2018.

XIA, F. *et al.* Distribution and source analysis of heavy metal pollutants in sediments of a rapid developing urban river system. **Chemosphere**, v. 2017, p. 218-228, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.090>. Acesso em: 08 ago. 2018.

YI, K. *et al.* Annual input and output fluxes of heavy metals to paddy fields in four types of contaminated areas in Hunan Province, **Science of the Total Environment**. China, v. 634, p. 67-76, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.294>. Acesso em: 11 set. 2018.

YILMAZ, A. B.; YILMAZ, L. Influences of sex and seasons on levels of heavy metals in tissues of green tiger shrimp (*Penaeus semisulcatus* de Hann, 1844). **Food Chemistry**, v. 101, p.1664–1669, 2007.

ZHAO, G.; *et al.* Surface sediment properties and heavy metal pollution assessment in the Pearl River Estuary, China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 2966-2799, 2017. Disponível em: DOI 10.1007/s11356-016-8003-4. Acesso em: 15 set. 2017.

ZHANG, Y. *et al.* A water quality management strategy for regionally protected water through health risk assessment and spatial distribution of heavy metal pollution in 3 marine reserves. **Science of the Total Environment**, v. 599, p.

721–731, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.232>.  
Acesso em: 23 set. 2018.