

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTES LITORÂNEOS E INSULARES



GABRIEL ANTONIO DO ROSÁRIO GONÇALVES

BIOMARCADORES ANTE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE  
ELEMENTOS-TRAÇO EM *Ucides cordatus*



PARANAGUÁ  
2023

Biomarcadores ante diferentes concentrações de elementos-traço em *Ucides cordatus*

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais.

Orientadora: Profa. Dra. Cassiana Baptista Metri

Coorientadora: Profa. Dra. Fabricia de Souza Predes

Paranaguá  
2023

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela minha saúde, pois ela tornou possível a realização deste trabalho, além de ser meu ponto de apoio seguro em diversos momentos de aflição.

Agradeço a toda a minha família, em especial aos meus avós, que forneceram apoio incondicional e foram fundamentais durante todo o processo desta dissertação.

Sou profundamente grato à minha orientadora, Professora Doutora Cassiana Baptista Metri, por acreditar em mim desde a graduação, pelos conselhos, repreensões e pela amizade. Nada disso seria possível sem você. Sinto orgulho em dizer que o profissional que me tornei é reflexo da sua orientação.

Agradeço também à minha coorientadora, Professora Doutora Fabricia de Souza Predes, por todo o apoio na parte histológica do trabalho.

Durante a jornada acadêmica, muitas vezes árdua, os amigos se tornam essenciais. Por isso, agradeço a Elizabeth Lopes do Nascimento pela amizade e parceria ao longo destes anos. Com certeza, todos os momentos de felicidade e tristeza foram melhores na sua companhia. Agradeço também a Rayane Bueno, Ana Paula e ao Professor Doutor Pablo Borges pela amizade e parceria.

Meus agradecimentos vão para os Laboratórios de Ecologia e Conservação (LABEC) e o Laboratório de Biologia Marinha (LABMAR) por cederem espaços para a realização das análises.

Agradeço a todos os amigos e colegas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PARANÁ**  
**Campus de Paranaguá**

Credenciada pelo Decreto nº 9636, de 05/12/2013 - D.O.E. 05/12/2013  
Recredenciada pelo Decreto nº 2374, de 14/08/2019 - D.O.E. 14/08/2019  
Rua Comendador Correa Junior, nº 117 - Centro - CEP: 83203-560 - Fone: (41) 3423-3644  
PARANAGUÁ - PARANÁ  
<http://paranagua.unespar.edu.br>



GABRIEL ANTONIO DO ROSÁRIO GONÇALVES

**BIOMARCADORES ANTE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ELEMENTOS-TRAÇO EM**  
***UCIDES CORDATUS***

Dissertação de mestrado apresentada  
Programa de Pós-graduação Ambientais  
Litorâneos e Insulares da Universidade  
Estadual do Paraná, para obtenção de  
Título de Mestre em Ciências  
Ambientais.

Paranaguá, 31 de março de 2023.

Banca examinadora:

Dra. Cassiana Baptista Metri (PALI/UNESPAR) – Orientadora Ass: *Cassiana Baptista Metri*

Dra. Liana Rosa (UFPR/Pontal do Paraná) – Examinadora Ass: *Liana Rosa*

Dra. Tânia Zaleski (UNESPAR – Paranaguá) – Examinadora Ass: *Tânia Zaleski*

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UNESPAR e Núcleo de Tecnologia de Informação da UNESPAR, com Créditos para o ICMC/USP e dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Gonçalves, Gabriel

Biomarcadores ante diferentes concentrações de elementos-traço em *Ucides cordatus* / Gabriel Gonçalves. -- Paranaguá-PR, 2023.  
73 f.

Orientador: Cassiana Metri.

Coorientador: Fabricia Predes.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação Mestrado Acadêmico em Ambientes Litorâneos e Insulares) -- Universidade Estadual do Paraná, 2023.

1. *Ucides cordatus*. 2. Baía de Paranaguá. 3. Caranguejo-uçá. 4. Histopatologia. 5. Elementos traços. I - Metri, Cassiana (orient). II - Predes, Fabricia (coorient). III - Título.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização dos quatro manguezais amostrados no CEP .....	8
Figura 2. Desenho amostral da coleta dos caranguejos .....	9
Figura 3: Processo de digestão dos tecidos do caranguejo uçá. ....	10
Figura 4. Regressão peso/largura da carapaça para <i>Ucides cordatus</i> .....	13
Figura 5. Índice de condição.....	14
Figura 6. Concentrações de cádmio (Cd).....	18
Figura 7. Concentrações de chumbo (Pb).....	19
Figura 8. Concentrações de mercúrio (Hg).....	20
Figura 9. Concentrações de cobre (Cu). ....	21
Figura 10. Concentrações de cromo (Cr).....	22
Figura 11. Concentrações de selênio (Se).....	23
Figura 12. Concentrações de zinco (Zn).....	24
Figura 13. Concentrações de cálcio (Ca) .....	25
Figura 14. Concentrações de manganês (Mn).....	26
Figura 15. Concentrações de magnésio (Mg) .....	27
Figura 16. Correlação de Spearman.....	29
Figura 17. Localização dos quatro manguezais amostrados no CEP.....	52
Figura 18. Prancha histológica de <i>Ucides cordatus</i> , infiltrado hemocítico .....	56
Figura 19. Prancha histológica de <i>Ucides cordatus</i> , encurtamento lamelar .....	58
Figura 20. Prancha histológica de <i>Ucides cordatus</i> , granuloma.....	59
Figura 21. Prancha histológica de <i>Ucides cordatus</i> com as alterações pontuais .....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Fontes antropogênicas de elementos-traço.....	7
Tabela 2. Médias e desvios-padrão das variáveis morfológicas .....	11
Tabela 3. Resultados teste-t .....	13
Tabela 4. Resultados Kruskal-Wallis entre os sexo de <i>Ucides cordatus</i> . ....	14
Tabela 5. Resultados da análise de Kruskal-Wallis para o local, feição, campanha e tecidos .....	16
Tabela 6. Quantidade de indivíduos de <i>Ucides cordatus</i> com uma alteração branquial .....	53
Tabela 7. Percentuais das alterações morfológicas.....	54

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	1
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	2
<b>CAPÍTULO 1 – UCIDES CORDATUS COMO BIOINDICADOR DE ELEMENTOS- TRAÇO</b> .....	4
<b>RESUMO</b> .....	4
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	4
<b>METODOLOGIA</b> .....	7
<b>Áreas amostrais</b> .....	7
<b>Amostragem</b> .....	9
<b>Parâmetros populacionais</b> .....	9
<b>Elementos-traço</b> .....	10
<b>Análise estatística</b> .....	11
<b>RESULTADOS</b> .....	11
<b>Parâmetros populacionais</b> .....	11
<b>Elementos-traço</b> .....	14
<b>Cádmio (Cd)</b> .....	17
<b>Chumbo (Pb)</b> .....	18

<b> Mercúrio (Hg)</b> .....	19
<b> Cobre (Cu)</b> .....	20
<b> Cromo (Cr)</b> .....	21
<b> Selênio (Se)</b> .....	22
<b> Zinco (Zn)</b> .....	23
<b> Cálcio (Ca)</b> .....	24
<b> Manganês (Mn)</b> .....	26
<b> Magnésio (Mg)</b> .....	26
<b> Bioacumulação</b> .....	28
<b> DISCUSSÃO</b> .....	29
<b> Parâmetros populacionais</b> .....	29
<b> Elementos-traço</b> .....	31
<b> Cd, Hg e Pb</b> .....	31
<b> Cu, Cr e Zn</b> .....	33
<b> Se</b> .....	34
<b> Ca</b> .....	35
<b> Mn</b> .....	36
<b> Mg</b> .....	37
<b> Bioacumulação</b> .....	37
<b> CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	39
<b> REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	39
<b> CAPÍTULO 2 – HISTOPATOLOGIA DAS BRÂNQUIAS DE <i>Ucides cordatus</i></b> .....	49
<b> INTRODUÇÃO</b> .....	49
<b> METODOLOGIA</b> .....	51
<b> Área de estudo</b> .....	51
<b> Histologia</b> .....	52
<b> Análise de dados</b> .....	53
<b> RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	53
<b> CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	63
<b> REFERÊNCIAS BIBIOGRÁFICAS</b> .....	64

## INTRODUÇÃO GERAL

Os ecossistemas litorâneos e insulares são de extrema importância para as regiões costeiras, atuando em diversos processos ecológicos, econômicos e culturais (GIL *et al.*, 2012; SANTANA *et al.*, 2015). Dentre os ecossistemas costeiros, os manguezais recebem destaque por atuar entre os ambientes mais produtivos e importantes ecologicamente (SCHAEFFER-NOVELLI *et al.*, 2000; FAUNCE e SERAFY, 2006).

O manguezal é caracterizado como uma zona úmida de regiões tropicais e subtropicais que atua como ambiente de transição entre a terra e o mar, ocorrendo em regiões costeiras abrigadas (GRASSO e CHAEFFER-NOVELLI, 1999; SEMA, 2010). Ele é composto por vegetação específica e adaptada ao manguezal, uma vez que o sedimento e principalmente a inundação pela maré são fatores limitantes para diversas espécies (SILVA *et al.*, 2005).

Os manguezais apresentam grande importância socioeconômica, pois atuam como fonte de subsistência e renda para as comunidades ribeirinhas, tornando-as dependentes de seus serviços ecossistêmicos (GRASSO e CHAEFFER-NOVELLI, 1999; GLASER e DIELE, 2004; WALTER *et al.*, 2012).

A fauna presente nos manguezais é bem diversa, sendo composta por aves, peixes, mamíferos e principalmente por uma ampla gama de invertebrados dentre os quais os crustáceos braquiúros são a fauna característica (OSHIRO *et al.*, 1998; FERNANDES, 2000).

Diversos serviços essenciais ao bem-estar humano são prestados pelos manguezais, tais como a conservação da diversidade biológica, pois servem de berçário e local de alimentação para diversas espécies, e a promoção da segurança alimentar por ser uma fonte de recursos pesqueiros. Também impedem processos erosivos na linha da costa devido ao seu complexo sistema de raízes que atua como filtro biológico, retendo partículas e poluentes que se encontram em suspensão na água (SOPER *et al.*, 2019; BRADLEY *et al.*, 2022). Os manguezais são ainda importantes reguladores do clima no planeta devido ao sequestro e armazenamento de carbono (ROVAI *et al.*, 2022).

Apesar da importância, os manguezais estão entre os ecossistemas mais sensíveis a impactos antrópicos em zonas estuarinas (ALONGI, 2002). A antropização crescente e desenfreada sobre os manguezais deriva-se, principalmente, do desmatamento, pesca predatória, queimadas, aterros, deposição de lixo, dragagem, portos/marinas e drenagem urbana, os quais acabam por contaminar e fragilizar todo o ecossistema (CAVALCANTE *et al.*, 2022).

No Estado do Paraná, os manguezais estão presentes nas Baías de Guaratuba e no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), representando 0,15% do território do estado, o que equivale a 310 km<sup>2</sup> (SEMA, 2010). A extensão dessas áreas destaca a importância de sua conservação. O CEP abrange uma superfície total de 551,8 km<sup>2</sup>, dos quais 286,6 km<sup>2</sup> correspondem a terras úmidas, onde os manguezais e marismas estão presentes (MARTINS *et al.*, 2004). É relevante mencionar que esse ecossistema está situado em uma das poucas áreas mais preservadas da Mata Atlântica brasileira.

O presente trabalho será dividido em dois capítulos. O primeiro capítulo, intitulado "*UCIDES CORDATUS* COMO BIOINDICADOR DE ELEMENTOS-TRAÇO", aborda fatores químicos, como as concentrações de elementos nos tecidos do caranguejo, com o objetivo de mapear essas concentrações no complexo estuarino de Paranaguá e compará-las com os limites máximos tolerados estabelecidos na legislação. Já o segundo capítulo, intitulado "*HISTOPATOLOGIA DAS BRÂNQUIAS DE UCIDES CORDATUS*", utiliza o tecido branquial dos caranguejos para observar a conservação do tecido e sua interação diante das concentrações dos elementos químicos analisados no primeiro capítulo.

## REFERÊNCIAS

- ALONGI, D. M. Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*, **Environmental Conservation**, v. 29, n. 3, p. 331–349, 2002.
- BRADLEY, M. et al. Local environmental context structures animal-habitat associations across biogeographic regions. **Ecosystems**, v. 25, n. 1, 2022.
- CAVALCANTE, J. D. C. et al. Fragilidade ambiental potencial e emergente da bacia do rio Mocajuba-PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 3, p. 14717-1433, 2022.
- FAUNCE, C. H.; SERAFY, J. E. Mangroves as fish habitat: 50 years of field studies. **Marine Ecology Progress Series**, v. 318, n. 1, p. 1–18, 2006.
- FERNANDES, M. E. B. Association of mammals with mangrove forests: a world. **Bol. Lab. Hidrobiol**, v. 13, n. 1, p. 83–108, 2000.
- GIL, M. J. et al. Emerging contaminants in waters: effects and possible treatments. Contaminantes emergentes em águas, efeitos e possíveis tratamentos. **Producción + Limpia**, v. 7, n. 2, p. 52–73, 2012.

GLASER, M.; DIELE, K. Asymmetric outcomes: assessing central aspects of the biological, economic and social sustainability of a mangrove crab fishery, *Ucides cordatus* (Ocypodidae), in North Brazil. **Ecological Economics**, v. 49, n. 3, p. 361–373, 2004.

GRASSO, M.; CHAEFFER-NOVELLI, Y. Economic valuation of mangrove ecosystems. **Natural Resource Valuation and Policy in Brazil**, v. 1, p. 239, 1999.

MARTINS, G. J. et al. Dinâmica da zona de rasa de shoaling e o transporte de sedimentos na desembocadura sul do complexo estuarino de Paranaguá-PR. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 1, n. 54, p. 51–64, 2004.

OSHIRO, L. M. Y.; SILVA, R.; SILVA, Z. S. Composição da fauna de braquiúros (Crustacea Decapoda) dos manguezais da baía de Sepetiba-RJ. **Nauplius**, v. 6, n. 1, p. 31–40, 1998.

ROVAI, A. S.; TWILLEY, R. R.; WORTHINGTON, T. A.; RIUI, P. Brazilian mangroves: blue carbon hotspots of national and global relevance to natural climate solutions, **Frontiers in forests and global change**, v. 4, 2022.

SANTANA, L. M. B. M.; LOTUFO, L. V. C.; ABESSA, D. M. S. A contaminação antrópica e seus efeitos em três estuários do litoral do Ceará, nordeste do Brasil - revisão. **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 48, n. 2, p. 93–115, 2015.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. et al. Brazilian mangroves. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, v. 3, n. 4, p. 561–570, 2000.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DO PARANÁ/SEMA. **Ecossistemas Paranaenses: Manguezal**. Vol 2. Curitiba, 2010. Disponível em [http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/cobf/V2\\_Manguezal.pdf](http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/cobf/V2_Manguezal.pdf).

SILVA, M. A. B. DA S.; BERNINI, E.; CARMO, T. M. S. Características estruturais de bosques de mangue do estuário do rio São Mateus, ES, Brasil. **Acta bot. bras.**, v. 19, n. 3, p. 456–471, 2005.

SOPER, F. M. et al. Non-native mangroves support carbon storage, sediment carbon burial, and accretion of coastal ecosystems. **Global Change Biology**, v. 25, n. 12, p. 4315–4326, 2019.

WALTER, T.; WILKINSON, J.; SILVA, P. DE A. A análise da cadeia produtiva dos catados como subsídio à gestão costeira: as ameaças ao trabalho das mulheres nos manguezais e estuários no Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 12, n. 4, p. 483–497, 2012.

## CAPÍTULO 1 – *UCIDES CORDATUS* COMO BIOINDICADOR DE ELEMENTOS-TRAÇO

### RESUMO

Organismos considerados como sentinelas, ou bioindicadores, vêm recebendo cada vez mais importância, uma vez que são capazes de responder a condições adversas do ambiente, sejam elas naturais ou antrópicas. O caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) é um excelente bioindicador da presença de contaminantes químicos no ambiente, principalmente de elementos-traço, pois seus tecidos acumulam esses poluentes. Além disso, *U. cordatus* apresenta extrema importância socioeconômica e a contaminação de seus tecidos pode acarretar problemas à saúde pública. O presente projeto de pesquisa utilizou os tecidos de *U. cordatus* para a determinação da concentração de sete elementos-traço e três elementos abundantes no ambiente. O estudo ocorreu entre os anos de 2019 e 2020, de modo que, em cada ano, quatro manguezais foram visitados sazonalmente (verão-inverno). Em cada manguezal, dez caranguejos foram coletados por um catador profissional. Cada caranguejo foi pesado e medido em sua largura da carapaça (LC) e comprimento da carapaça (CC). Além disso, por meio de dissecação, foram obtidas amostras de três tecidos: musculatura da quela maior, hepatopâncreas e brânquias. Os dados morfométricos dos caranguejos foram utilizados para calcular o Fator de Condição das populações. As amostras de tecidos foram digeridas em ácido nítrico e peróxido de hidrogênio, com posterior diluição e filtragem para dosagem das concentrações dos elementos Cd, Cr, Pb, Hg, Cu, Se, Zn, Ca, Mg e Mn pelo método de espectrometria de absorção atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP-AES). Os valores obtidos foram confrontados com os Limites Máximos Tolerados (LMT), conforme as legislações nacionais e internacionais. Para as análises estatísticas, foram utilizados os testes de Kruskal-Wallis e Nemenyi a posteriori, além da correlação de Spearman. Foi observado que seis elementos com LMT definidos estão acima do permitido, sendo eles Pb, Hg, Cu, Cr, Se e Zn. Dentre os tecidos, o maior acúmulo dos elementos-traço ocorreu no hepatopâncreas. Além disso, não foram observadas diferenças nas concentrações dos elementos entre as áreas amostrais, com exceção do Ca e Se, bem como entre os sexos.

**Palavras-chave:** caranguejo-uçá, litoral paranaense, tecidos, contaminação química.

### INTRODUÇÃO

Endêmico dos manguezais, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) popularmente conhecido como caranguejo-uçá, é um crustáceo braquiúro semiterrestre que vive na região de entremarés em galerias escavadas no sedimento do manguezal para se proteger contra predadores, se alimentar e evitar condições ambientais adversas (KINOSHITA, 2002; SOUZA e PINHEIRO, 2022). Sua distribuição ocorre do estado da Flórida, nos Estados Unidos, até o estado de Santa Catarina, no Brasil (MELO, 1996).

Adicionalmente, a espécie apresenta seu desenvolvimento indireto com sete estágios larvais antes de adquirir morfologia similar a de um adulto (PINHEIRO e FISCARELLI, 2001). Seu ciclo de vida é marcado por comportamentos bem definidos, compostos pelo período de

muda (ecdise), cópula (“andada”) e desova (WUNDERLICH *et al.*, 2008). O processo de muda ocorre periodicamente conforme os indivíduos crescem e se desenvolvem, sendo mais frequentes nos estados juvenis da espécie (PINHEIRO e FISCARELLI, 2001). Além disso, *U. cordatus* é considerado uma espécie de maturidade precoce; também apresenta reduzida taxa de crescimento somático, sendo possível encontrar fêmeas ovígeras com um menor porte na população (PINHEIRO, 2004).

Diferenças morfológicas são descritas entre os machos e as fêmeas dessa espécie, sendo os machos maiores e mais robustos (DALABONA *et al.*, 2005; ARAÚJO *et al.*, 2012). O ciclo de maturação é bem demarcado, estando os machos com as gônadas com espermatóforos maduros e seus caracteres sexuais secundários bem desenvolvidos (quelípodos maiores) (JIVOFF e HINES, 1998), e as fêmeas aptas para a cópula, sendo que aquelas que apresentam a abertura dos gonóporos e alargamento do abdome não necessitam que os ovários estejam maduros (PINHEIRO e FRANSOZO, 1998).

Padrões de organização das populações ao longo dos manguezais são descritos de modo que os indivíduos de maior porte se distribuem de forma mais espaçada em áreas de sedimento lodoso, característico das franjas de manguezais, enquanto os estágios mais jovens são mais frequentes em sedimentos mais firmes, normalmente típicos das bacias dos manguezais (PINHEIRO e FISCARELLI, 2001; GONÇALVES *et al.*, 2022).

Informações a respeito da estrutura populacional dos crustáceos são essenciais para compreender como essas populações crescem, se desenvolvem, se reproduzem, e como ocorrem suas interações com o ambiente. Além disso, essas informações são de extrema importância para o manejo das populações (NAKAGAKI e PINHEIRO, 1999; SOUZA e PINHEIRO, 2022).

Relatos da captura do caranguejo uçá são descritos desde o século VXI, evidenciando a importância do caranguejo-uçá, de modo a fazer parte da vida dos povos tradicionais (PINHEIRO e FISCARELLI, 2001). Ressalta-se que dentre os organismos extraídos de manguezais, a captura e a comercialização do caranguejo-uçá é a mais importante, ocorrendo em escala nacional (VIEIRA *et al.*, 2004; CASTILHO-WESTPHAL *et al.*, 2008). Sua carne é extremamente apreciada e considerada como iguaria, sendo, além disso uma importante fonte de proteínas e minerais, com destaque para o zinco (PEDROZA e COZZOLINO, 2001). A sua comercialização é responsável pela subsistência e renda de inúmeras famílias ribeirinhas, principalmente as com menor poder aquisitivo (CRUZ *et al.*, 2018).

Organismos capazes de responder à presença de ações antrópicas são denominados de bioindicadores (ARIAS *et al.*, 2007). Os organismos bioindicadores são importantes

ferramentas utilizadas para monitorar os ecossistemas e as mudanças que nele ocorrem. Além disso, permitem compreender os efeitos dos contaminantes sobre os indivíduos, assim como entender a que ponto determinadas substâncias passam de benéficas a tóxicas (SÁ *et al.*, 2019).

Dentre as várias capacidades bioindicadoras, o estudo atual concentrou-se em utilizar os tecidos de *U. cordatus* como indicadores de contaminação por poluentes, uma vez que esses tecidos respondem aos contaminantes, acumulando-os em seu interior. Foram escolhidas as brânquias, o hepatopâncreas e a musculatura. As brânquias foram selecionadas devido a serem o primeiro tecido a entrar em contato com poluentes na água, além de possuírem uma grande área de superfície que facilita a interação e a rápida absorção dos contaminantes (PANDEY *et al.*, 2008; NEGRO, 2015; JESUS *et al.*, 2020). Além disso, o hepatopâncreas é um tecido que responde à presença de elementos traço, devido à sua função detoxificante, resultando na acumulação dos contaminantes em grânulos amorfos no tecido (CORRÊA JUNIOR *et al.*, 2000). Por outro lado, o tecido muscular tende a conter menores concentrações de contaminantes em comparação com outros tecidos, apesar de ser um dos mais importantes em termos socioeconômicos (ALCORLO *et al.*, 2006; SUÁREZ-SERRANO *et al.*, 2010).

Entre os contaminantes liberados nos recursos hídricos, os elementos-traço recebem destaque devido à sua maior persistência e toxicidade (ABRAHAM e SUSAN, 2017; SANTOS *et al.*, 2017). O termo elemento-traço tem sido empregado para definir os elementos químicos que ocorrem em baixas concentrações no ambiente (ALLOWAY, 1990). Discussões globais a respeito desses contaminantes são frequentemente abordadas, pois os contaminantes apresentam alta capacidade de impactar ecossistemas e oferecem risco à saúde humana, uma vez que se acumulam facilmente na biota e podem ser transferidos ao longo da cadeia trófica (RAINBOW, 2007; TREVIZANI *et al.*, 2018).

A classificação dos elementos químicos, traço ou não, ocorre perante a sua importância durante um ou mais processos biológicos na vida dos organismos (ALLOWAY, 1990; TÜRKMEN e CIMINLI, 2007). Os elementos que fazem parte da constituição de tecidos e órgãos e/ou da atividade metabólica são denominados como essenciais, tendo como exemplo o cobre, o ferro, o zinco, o magnésio, o selênio e o manganês. No entanto, quando em elevadas concentrações, tornam-se tóxicos (TÜRKMEN e CIMINLI, 2007). Já os elementos que não participam da formação de tecidos e nem nos processos metabólicos são denominados de não essenciais, tendo o cádmio, o mercúrio e o arsênio como exemplos.

Dentre os elementos químicos, o presente estudo analisou seis elementos essenciais, sendo eles: cálcio, magnésio, manganês, chumbo, selênio e zinco, sendo os três últimos elementos-traço. Já os elementos-traço não essenciais foram: cádmio, cobre, cromo e mercúrio.

Tanto os elementos-traço essenciais, quanto os não essenciais, são capazes de se acumularem nos organismos aquáticos, sendo seus tecidos o principal local onde ocorre tal acúmulo. Esse processo é denominado de bioacumulação (MARSDEN e RAINBOW, 2004). A bioacumulação acarreta o aumento da toxicidade dos elementos-traço para os organismos, provocando diversas reações metabólicas prejudiciais. Além disso, devido a não depuração desses elementos, organismos já lesionados são mais impactados, assim como aqueles que habitam áreas frequentemente antropizadas (JITAR *et al.*, 2015; SFAKIANAKIS *et al.*, 2015; ROCHA e AZEVEDO, 2015; JAISWAL *et al.*, 2018).

A disponibilidade dos elementos-traço no ambiente varia conforme sua fonte de emissão (Tab. 1) e sua permanência varia de elemento para elemento, mas de forma geral tendem a permanecer no ambiente por cerca de dez anos (LOPES e LIMA, 2012).

Tabela 1. Fontes antropogênicas de elementos-traço. Adaptado de Lopes e LIMA, 2012.

Elementos químicos		FONTES ANTROPOGÊNICAS
Alumínio (Al)	Não Essenciais	Efluentes industriais
Arsênio (As)		Mineração, pesticidas e queima de carvão rico em As
Cádmio (Cd)		Baterias, pigmentos, ligas, PVC, fertilizantes fosfatados e combustíveis fósseis
Níquel (Ni)		Queima de combustíveis fósseis, galvanoplastia, mineração e fundição do metal.
Cromo (Cr)		Curtumes, lixo urbano e industrial, galvanoplastia, incineração e fundição do metal
Chumbo (Pb)	Essenciais	Efluentes industriais, tintas, baterias e tubulações
Ferro (Fe)		Fertilizantes e efluentes domésticos
Zinco (Zn)		Agrotóxicos, combustíveis fósseis, incineração de lixo, resíduos domésticos e fertilizantes

Diante da problemática da contaminação por elementos-traço nas populações de organismos marinhos e da elevada importância ecológica e econômica do caranguejo-uçá, o presente estudo tem como objetivo obter a concentração dos elementos-traço nos tecidos de *U. cordatus*, comparando tais concentrações entre os tecidos branquiais, hepatopancreáticos e a musculatura da quebra nos manguezais da região do CEP, bem como entre diferentes sazonalidades (verão-inverno).

## METODOLOGIA

### Áreas amostrais

O litoral paranaense é composto por dois estuários bem desenvolvidos: o estuário de Guaratuba e o estuário de Paranaguá. O Complexo estuário de Paranaguá (CEP) abrange duas grandes baías: a baía de Paranaguá, localizada no eixo Leste/Oeste, e a baía das Laranjeiras, situada no eixo Norte/Sul. O CEP abrange grandes área de terras úmidas como manguezais e

marismas, além de estar inserido em uma das áreas mais preservadas da Mata Atlântica brasileira.

O estudo foi realizado em quatro áreas dentro do CEP, sendo que três correspondem às seguintes Unidades de Conservação (UC): ESEC de Guaraqueçaba (25.511441° S, 48.494182° W), PARNA Superagui (25.308863° S, 48.170149° W) e RPPN Papagaio da Cara Roxa (25.515578° S, 48.509732° W). A quarta área situa-se fora de UC e localiza-se em uma área adjacente ao porto de Paranaguá, PGUA (25.511408° S, 48.494045° W).

Essas áreas apresentam diferentes graus de antropização, com o PARNA sendo a área mais distante dos centros urbanos e com acesso dificultado em comparação com as demais. A ESEC está próxima ao município de Guaraqueçaba, enquanto a RPPN está próxima das comunidades pesqueiras da Ilha Rasa. O manguezal de Paranaguá (PGUA) está localizado ao lado do terminal de contêineres (TCP) do porto de Paranaguá e recebe o deságue do rio Itiberê, que, por sua vez, recebe o deságue do rio popularmente denominado "Rio do Chumbo", próximo ao ponto de amostragem.

Cada manguezal foi amostrado em quatro períodos amostrais, sendo visitados nos meses de março (C1) e junho (C2) de 2019 e nos meses de março (C3) e setembro (C4) de 2020.

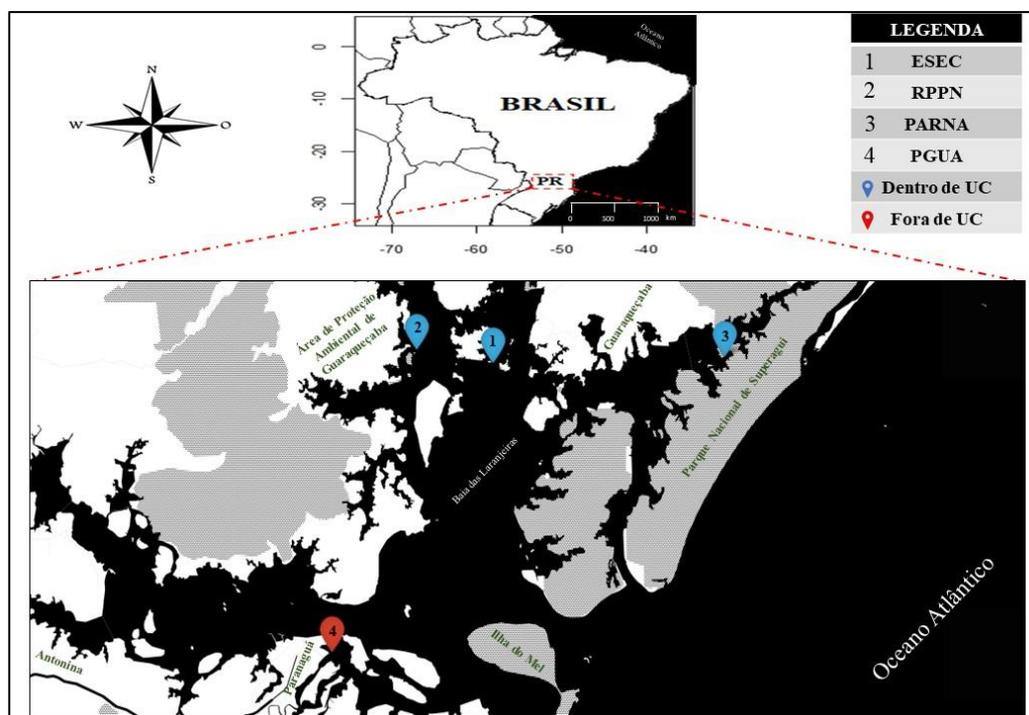


Figura 1. Localização dos quatro manguezais amostrados no CEP (Complexo Estuarino de Paranaguá): ESEC = Estação Ecológica de Guaraqueçaba, RPPN = Reserva Particular do Patrimônio Natural do Papagaio da Cara Roxa, PARNA = Parque Nacional do Superagui e PGUA = Área não protegida legalmente em Paranaguá, adjacente ao porto.

## Amostragem

Em cada manguezal, foram coletados aleatoriamente 10 caranguejos em C1 e C2 (5 na feição de franja e 5 na bacia) e 6 indivíduos em C3 e C4 (3 na franja e 3 na bacia) por um catador profissional, pelo método do braceamento (Fig. 2). A escolha das tocas para a captura ocorreu devido à presença de atividade, como marcas e fezes. Em laboratório, os indivíduos foram sedados por resfriamento e, por meio de dissecação, foram obtidas amostras de três tecidos: musculatura da quela maior (própodo), hepatopâncreas e brânquias.

## Parâmetros populacionais

Em laboratório os indivíduos foram sedados por resfriamento, sendo em seguida pesados em uma balança de precisão (0,001g) para a obtenção do peso úmido (P). A largura e o comprimento da carapaça (LC e CC, respectivamente) foram mensurados com o auxílio de um paquímetro digital (0,05mm).

As variáveis P e LC foram submetidas à análise de regressão, com verificação do ajuste dos pontos empíricos à função potência ( $y = a \cdot x^b$ ), sendo a significância estabelecida pelo teste-t de Student. Os indivíduos danificados, ou com organismos epibiontes, foram excluídos das análises. A taxa de crescimento em relação ao peso foi avaliada pelo grau de alometria e confirmada pelo teste-t, como: isométrico ( $b = 3$ ), alométrico positivo ( $b > 3$ ), ou alométrico negativo ( $b < 3$ ) (HAWKINS e HARTNOLL, 1982).

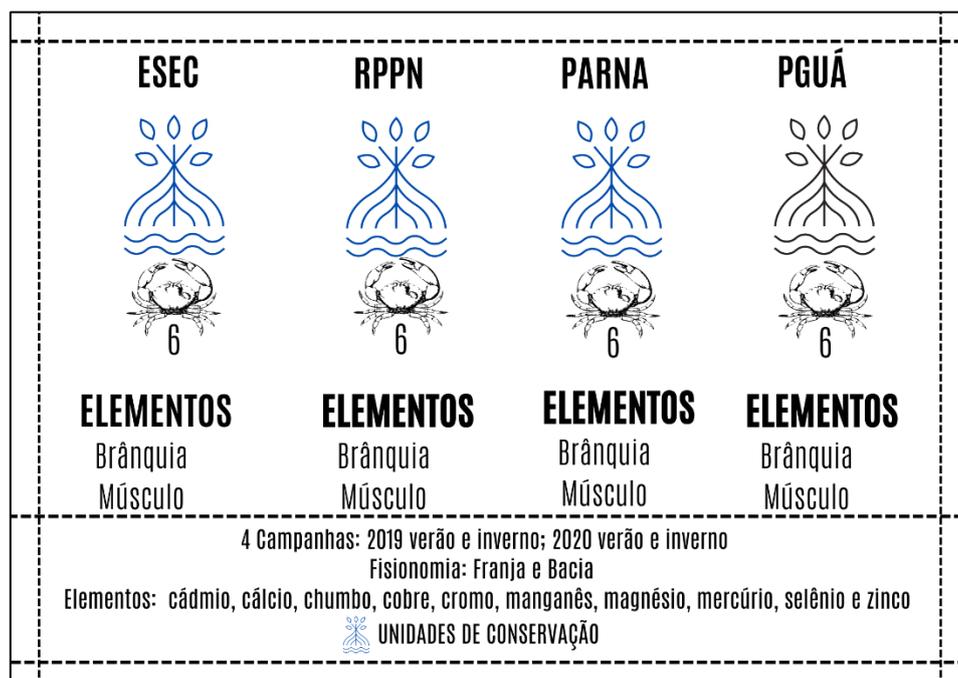


Figura 2. Desenho amostral da coleta dos caranguejos, assim como os tecidos utilizados e os elementos dosados

A partir da obtenção do grau de alometria, foi calculado o índice de condição (IC) de acordo com Pinheiro e Fiscarelli (2009). O IC foi calculado pela seguinte fórmula:

$$IC = \frac{P_{médio}}{LC_{médio}^b}$$

Neste contexto, IC representa o índice de condição, P denota o peso médio (g), LC é a média da largura da carapaça (mm), e "b" é o coeficiente alométrico.

A variável morfométrica CC foi utilizada nas análises multivariadas.

### Elementos-traço

Todo o procedimento laboratorial, desde a esterilização até a digestão dos tecidos, foi adaptado do protocolo utilizado por Trevizani (2011). Todos os recipientes plásticos e vidrarias utilizados foram esterilizados por imersão em solução de Extran (2%) e, posteriormente, em ácido nítrico (10%), sendo enxaguados com água destilada e secos em estufa.

O processo de digestão dos tecidos está ilustrado abaixo (Fig. 3).

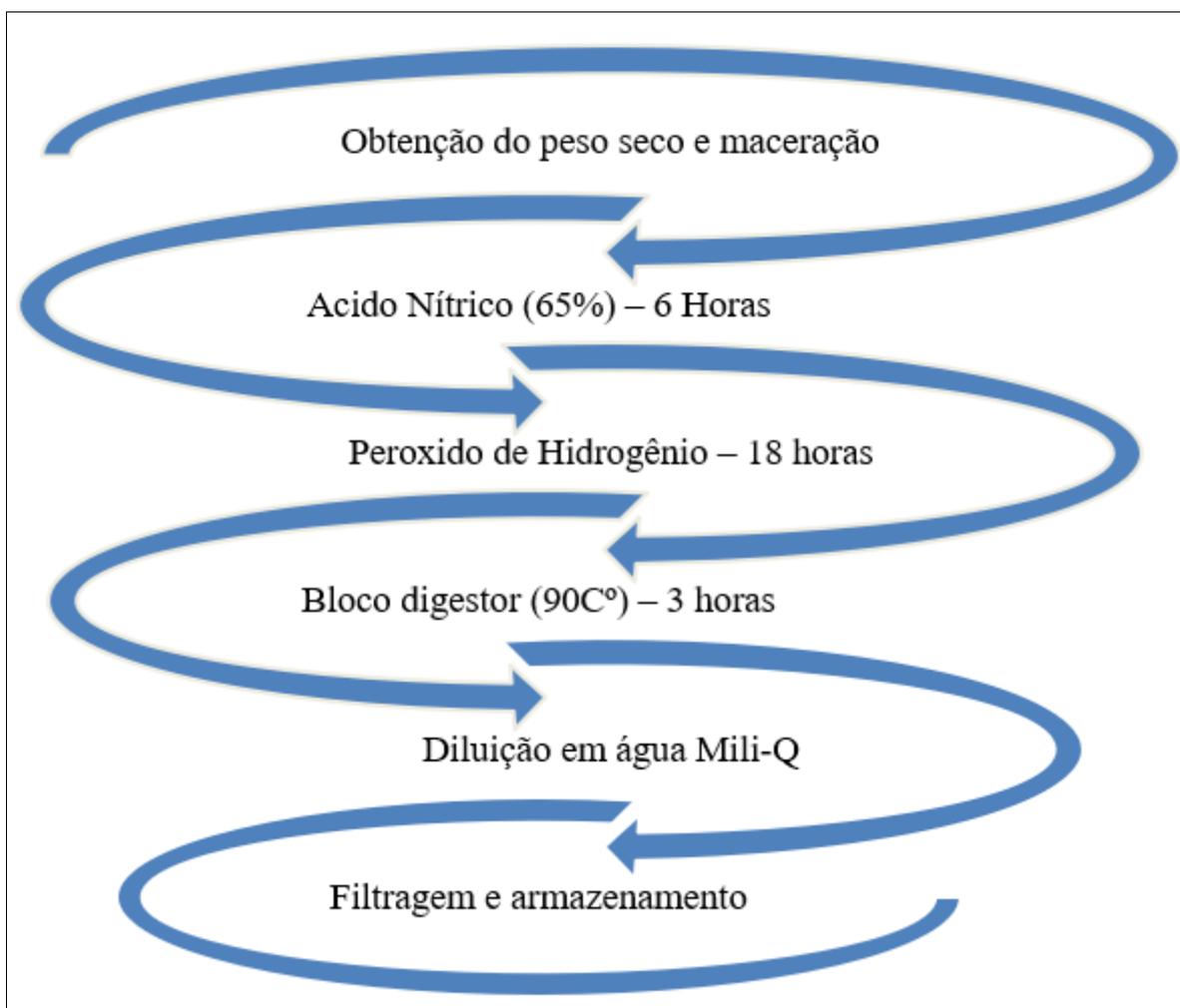


Figura 3: Processo de digestão dos tecidos do caranguejo uçá.

As concentrações dos elementos cádmio (Cd), cálcio (Ca), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), manganês (Mn), magnésio (Mg), mercúrio (Hg), selênio (Se) e zinco (Zn) nas amostras foram determinadas por meio de análise realizada no Laboratório de Solos do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, utilizando a técnica de espectrometria de absorção atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP-AES).

As concentrações dos elementos-traço: Cd, Cr, Pb e Hg encontrados nas amostras, foram então comparadas aos limites máximos tolerados (LMT) estabelecidos pela instrução normativa 88 de 26 de março de 2021. Já para os elementos Cu, Se e Zn, os LMT foram adotados de acordo com os padrões estabelecidos pela instituição internacional Food and Agriculture Organization (FAO) em seu documento intitulado "*Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products*" (NAUEN, 1983).

### Análise estatística

Após a realização do teste de normalidade de Shapiro-Wilk, optou-se pela utilização de análises não paramétricas para a comparação das variações das concentrações de elementos-traço entre áreas, tecidos, feições e campanhas. Foram empregados os testes de *Kruskal-Wallis*, seguidos do teste de *Nemenyi*. Todos os testes foram conduzidos com um nível de significância de 5%.

Os dados referentes aos elementos-traço e às medidas morfométricas foram confrontados por meio da Correlação de *Spearman*. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados utilizando o software de análises *RStudio* e o *Microsoft Excel*.

## RESULTADOS

### Parâmetros populacionais

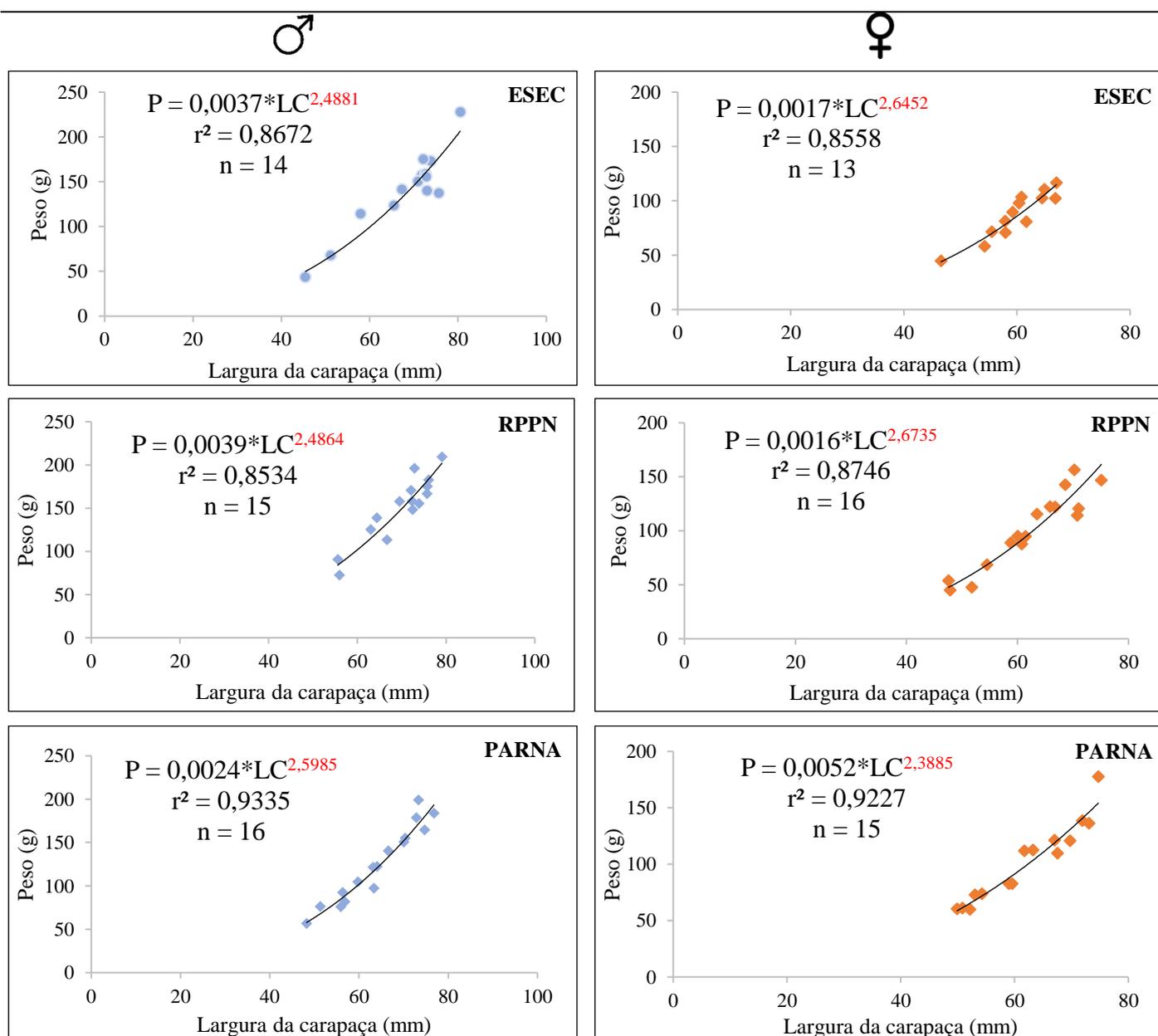
Foram capturados 130 indivíduos, sendo 76 machos e 54 fêmeas. Os valores médios das variáveis LC, CC, e P obtidas para ambos os sexos estão representadas na tabela 2.

Tabela 2. Médias e desvios-padrão das variáveis morfométricas: largura da carapaça (LC), comprimento da carapaça (CC) e peso úmido (P) de *Ucides cordatus*. n= número de indivíduos coletados.

Locais	Sexo	LC	CC	P(g)	n
		mm			
ESEC	Macho	68,20 ± 9,37	52,31 ± 6,69	150,16 ± 49,86	16
RPPN		69,67 ± 7,17	54,05 ± 9,19	150,79 ± 37,60	15
PARNA		63,96 ± 8,69	48,60 ± 6,79	125,03 ± 43,81	16
PGUA		66,91 ± 7,56	50,08 ± 5,88	141,87 ± 42,40	31

ESEC		58,57 ± 6,24	43,92 ± 5,25	93,69 ± 26,77	15
RPPN	Fêmea	62,65 ± 13,68	45,86 ± 9,00	102,11 ± 33,17	18
PARNA		61,36 ± 8,49	46,52 ± 5,62	104,44 ± 35,66	17
PGUA		39,41 ± 5,58	29,30 ± 3,50	32,53 ± 12,94	2

Os dados obtidos da regressão P/LC (Fig. 4) demonstram que os caranguejos-uçá apresentaram crescimento isométrico ( $b = 3$ ) em todos os locais e sexos. Apesar de todos os coeficientes de alometria serem menores do que 3, o Teste-t (Tab. 3) não rejeitou a  $H_0$ , confirmando a isometria (Tab. 2).



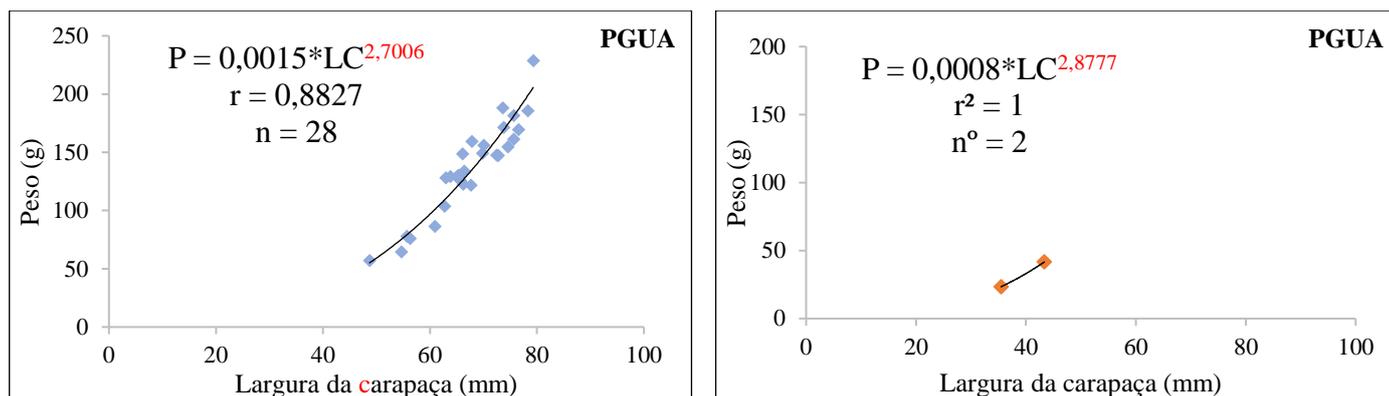


Figura 4. Regressão peso/largura da carapaça para *Ucides cordatus* para ambos os sexos nos quatro manguezais amostrados. Números em vermelho refletem os valores do coeficiente b.

Tabela 3. Resultados obtidos do Teste-t entre os sexos de cada área amostral.

Locais	Sexo	Coeficiente b	t-calculado	t-tabelado	Hipótese
ESEC	Macho	2,488	1,044	2,160	$H_0 = \text{Crescimento isométrico}$ $t\text{-calculado} > t\text{-tabelado} = \text{rejeita-se } H_0$
RPPN		2,486	0,929	2,145	
PARNA		2,598	1,086	2,131	
PGUA		2,701	0,860	2,052	
ESEC	Fêmea	2,645	0,830	2,179	
RPPN		2,673	0,896	2,131	
PARNA		2,388	1,835	2,145	
PGUA		2,878	-	12,706	

Os resultados do índice de condição não evidenciaram diferenças dos valores entre os sexos ( $H(1) = 0,002$ ;  $p = 0,967$ ), e campanhas ( $H(3) = 0,803$ ;  $p = 0,849$ ), optando assim pela representação dos valores agrupados (Fig. 5).

Os valores médios do IC observados para as áreas amostrais foram:  $2,75^{E-03} \pm 1,11^{E-03}$ ,  $2,75^{E-03} \pm 1,20^{E-03}$ ,  $3,48^{E-03} \pm 1,88^{E-03}$  e  $1,31^{E-03} \pm 3,85^{E-04}$  para as respectivas áreas: ESEC, RPPN, PARNA e PGUA. Diferenças significativas foram observadas apenas entre os manguezais de PGUA e ESEC ( $H(3) = 10,423$ ;  $p = 0,046$ ) e PGUA e PARNA ( $H(3) = 10,423$ ;  $p = 0,016$ ).

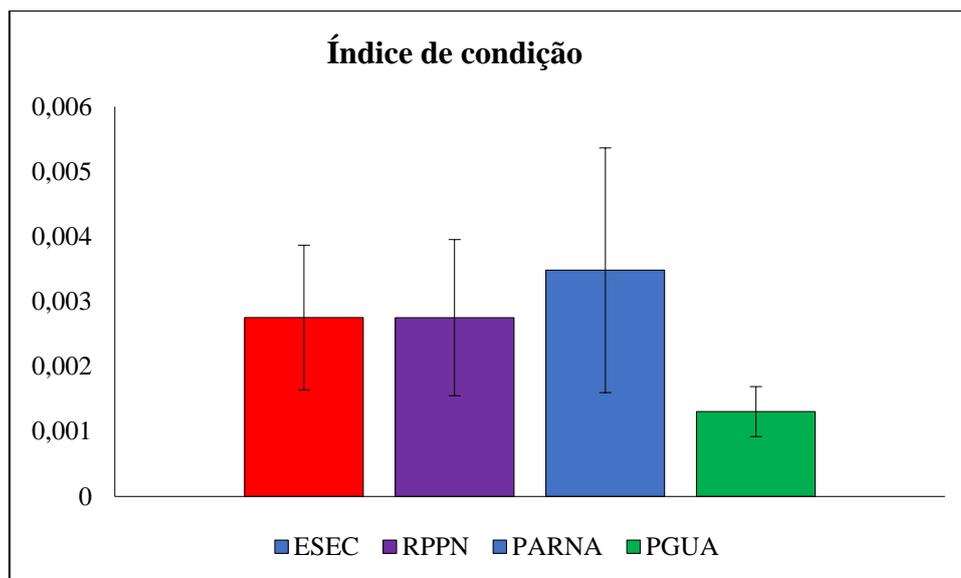


Figura 5. Índice de condição calculados para *Ucides cordatus* obtidos nos diferentes manguezais do complexo estuarino da baía de Paranaguá.

### Elementos-traço

O resultado do confronto das concentrações dos dez elementos analisados entre os sexos (Tab. 4) não mostraram diferenças para nenhum dos elementos, revelando apenas tendências de diferenças para o magnésio. Tendo em vista esse resultado, optou-se pela representação dos dados agrupados.

Tabela 4. Resultados do teste de Kruskal-Wallis para as concentrações dos dez elementos químicos por sexo de *Ucides cordatus*. Ca = cálcio, Cd = cádmio, Cr = cromo, Cu = cobre, Hg = mercúrio, Mg = magnésio, Mn = manganês, Se = selênio, Pb = chumbo, Zn = zinco.

Elementos	Sexo
Ca	$H(1) = 1,807; p = 0,297$
Cd	$H(1) = 1,297; p = 0,254$
Cr	$H(1) = 0,715; p = 0,398$
Cu	$H(1) = 0,613; p = 0,434$
Hg	$H(1) = 0,164; p = 0,686$
Mg	$H(1) = 3,868; p = 0,050$
Mn	$H(1) = 0,004; p = 0,952$
Se	$H(1) = 1,828; p = 0,176$
Pb	$H(1) = 0,370; p = 0,543$
Zn	$H(1) = 0,009; p = 0,923$

A concentração média dos dez elementos químicos e suas particularidades estatísticas estão dispostas na tabela 5. Para as áreas amostrais observou-se diferenças apenas para o elemento Ca e Se. Já para as feições, apenas Ca e Mg foram significativas, possuindo ambos

maiores valores nas bacias. As campanhas não apresentaram nenhum padrão sazonal, entretanto, exibiram tendências sazonais para Mg, Mn e Zn.

Para os tecidos, apenas Cd, Cr e Pb não variaram. Para os demais, o acúmulo ocorreu no hepatopâncreas para Hg, Mg, Se, nas brânquias, para cobre e na musculatura para Ca e Zn. Para o Mn o acúmulo ocorreu igualmente nos tecidos branquiais e hepatopancreáticos.



### Cádmio (Cd): não essencial – classificação química: metal – elemento-traço

Os valores médios obtidos da concentração de Cd (Fig. 6) não variaram entre os manguezais ( $H(3) = 4,297$ ;  $p = 0,231$ ), suas feições ( $H(1) = 0,003$ ;  $p = 0,956$ ) e os tecidos ( $H(2) = 0,446$ ;  $p = 0,800$ ). Entretanto, foram observadas diferenças entre as campanhas amostrais de modo que todas diferiram entre si ( $H(3) = 165,130$ ;  $p = 0,000$ ). As maiores concentrações ocorreram em C3 e as menores em C4, relatando assim uma variação, porém sem padrão sazonal (Tab. 5).

As concentrações de Cd estão abaixo do LMT em todas os locais, campanhas e tecidos (Fig. 5), todavia foram observados alguns valores acima do LMT nas UCs considerados como *outliers*, ressaltando assim a necessidade de atenção a esse elemento nos manguezais presentes nas UCs.

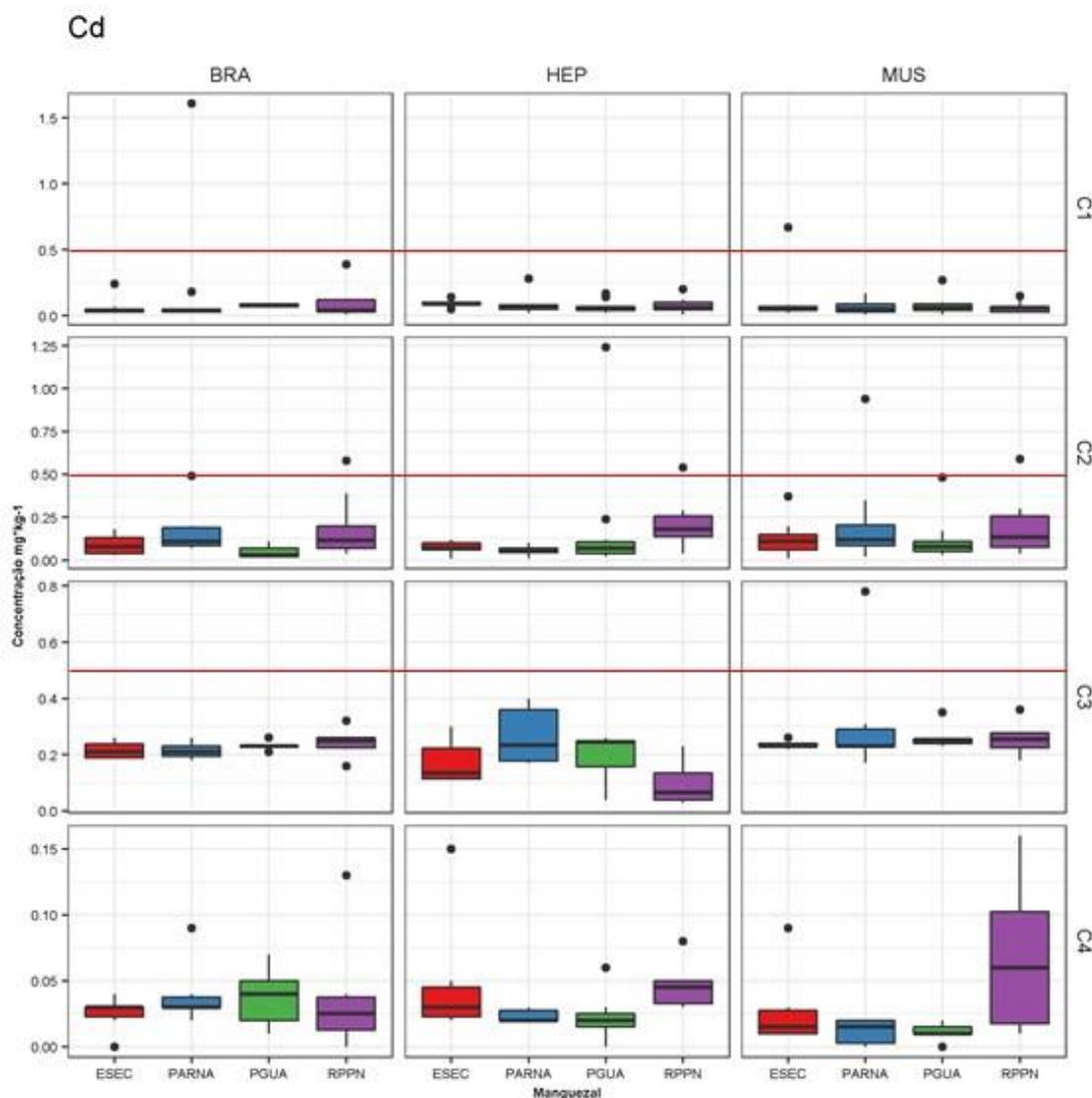


Figura 6. Concentrações de cádmio (Cd) obtidas nas brânquias (BRA), hepatopâncreas (HEP) e musculatura (MUS) de *U. cordatus* nos manguezais paranaenses (ESEC = Estação Ecológica de Guaraqueçaba, PARNA = Parque Nacional de Superagui, RPPN = Reserva Particular de Patrimônio Natural Papagaio da Cara Roxa e PGUA = Paranaguá) nas 4 campanhas amostrais (C1 = verão de 2019, C2 = inverno de 2019, C3 = verão de 2020 e C4 = inverno de 2020). Limites máximos tolerados representados por linha vermelha. Letras diferentes representam diferenças significativas.

### **Chumbo (Pb): essencial – classificação química: metal – elemento-traço**

Os resultados das concentrações de Pb (Fig. 7) se mantiveram constante entre as áreas ( $H(3) = 1,744$ ;  $p = 0,627$ ), feições ( $H(1) = 1,127$ ;  $p = 0,289$ ) e para os tecidos ( $H(2) = 4,743$ ;  $p = 0,093$ ), porém foram observadas tendências de maiores concentrações para o hepatopâncreas. Para as campanhas foram observadas diferenças significativas em C3, com valores próximos ao dobro das demais campanhas ( $H(3) = 83,184$ ;  $p = 0,000$ ; Tab. 5).

Os valores obtidos de Pb estavam, em geral, acima do LMT, com destaque para o hepatopâncreas nas UCs, principalmente em C3.

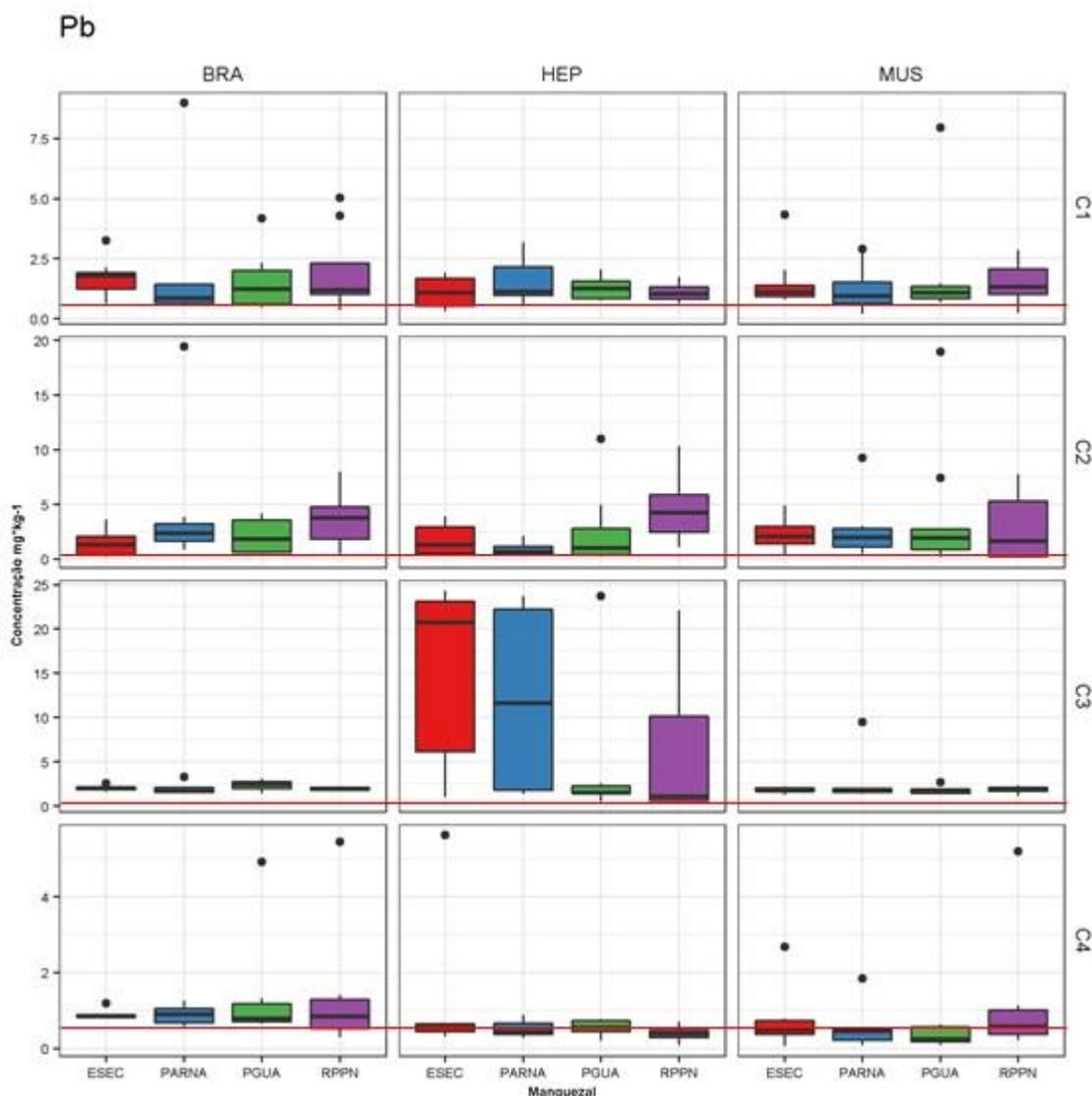


Figura 7. Concentrações de chumbo (Pb) obtidas nas brânquias (BRA), hepatopâncreas (HEP) e musculatura (MUS) de *U. cordatus* nos manguezais paranaenses (ESEC = Estação Ecológica de Guaraqueçaba, PARNA = Parque Nacional de Superagui, RPPN = Reserva Particular de Patrimônio Natural Papagaio da Cara Roxa e PGUA = Paranaguá) nas 4 campanhas amostrais (C1 = verão de 2019, C2 = inverno de 2019, C3 = verão de 2020 e C4 = inverno de 2020). Limites máximos tolerados representados por linha vermelha. Letras diferentes representam diferenças significativas.

### **Mercúrio (Hg): não essencial – classificação química: metal – elemento-traço**

Para o Hg (Fig. 8) os manguezais desmontaram concentrações próximas ( $H(3) = 7,083$ ;  $p = 0,069$ ) concomitantemente para as feições ( $H(1) = 1,634$ ;  $p = 0,201$ ) e campanhas ( $H(3) = 3,638$ ;  $p = 0,303$ ). Já nos tecidos houve diferença estatística ( $H(2) = 18,983$ ;  $p = 0,000$ ) sendo o hepatopâncreas o tecido com maiores valores (Tab. 5).

Ao confrontar as concentrações com os LMT, observou-se que apenas as brânquias mantiveram-se constantemente abaixo do LMT.

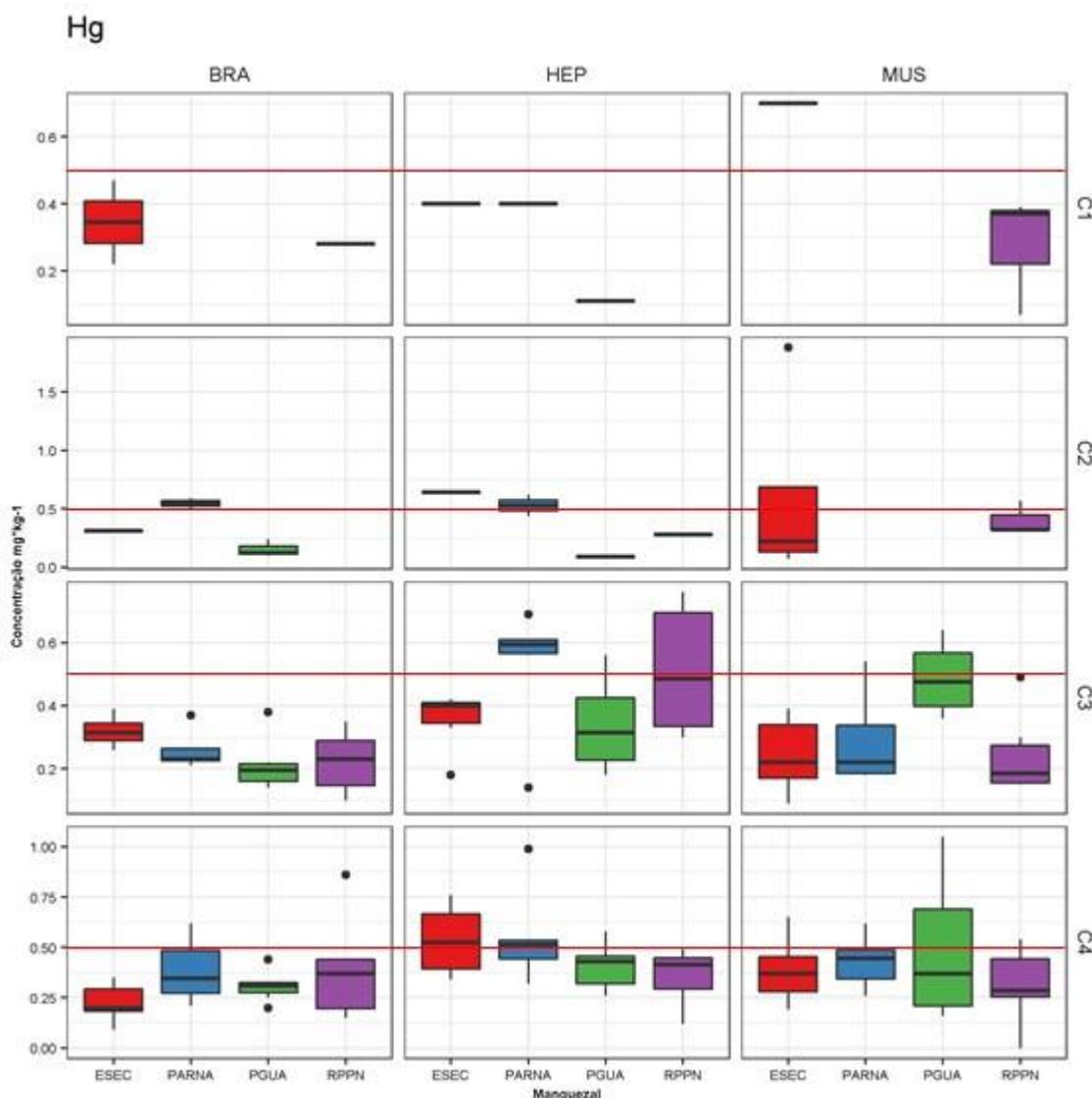


Figura 8. Concentrações de mercúrio (Hg) obtidas nas brânquias (BRA), hepatopâncreas (HEP) e musculatura (MUS) de *U. cordatus* nos manguezais paranaenses (ESEC = Estação Ecológica de Guaraqueçaba, PARNA = Parque Nacional de Superagui, RPPN = Reserva Particular de Patrimônio Natural Papagaio da Cara Roxa e PGUA = Paranaguá) nas 4 campanhas amostrais (C1 = verão de 2019, C2 = inverno de 2019, C3 = verão de 2020 e C4 = inverno de 2020). Limites máximos tolerados representados por linha vermelha. Letras diferentes representam diferenças significativas.

### Cobre (Cu): essencial – classificação química: metal – elemento-traço

Assim como o Hg, as concentrações de cobre (Fig. 9) diferiram significativamente apenas entre os tecidos ( $H(2) = 56,854$ ;  $p = 0,000$ ). O acúmulo do metal apresentou uma contaminação hierárquica, de modo que a brânquia foi o tecido com maiores concentrações, seguida pela musculatura e, posteriormente, pelo hepatopâncreas (Tab. 5).

Nas concentrações de cobre observaram-se valores acima do LMT para as brânquias em todos os locais e campanhas. As medianas das concentrações nos hepatopâncreas e nas musculaturas mantiveram-se abaixo do LMT, porém os terceiros quartis estavam acima, o que indica que parte das amostras (25%) estavam acima do

limite, chamando a atenção para a importância do monitoramento desse elemento nos demais tecidos dos caranguejos-uçá.

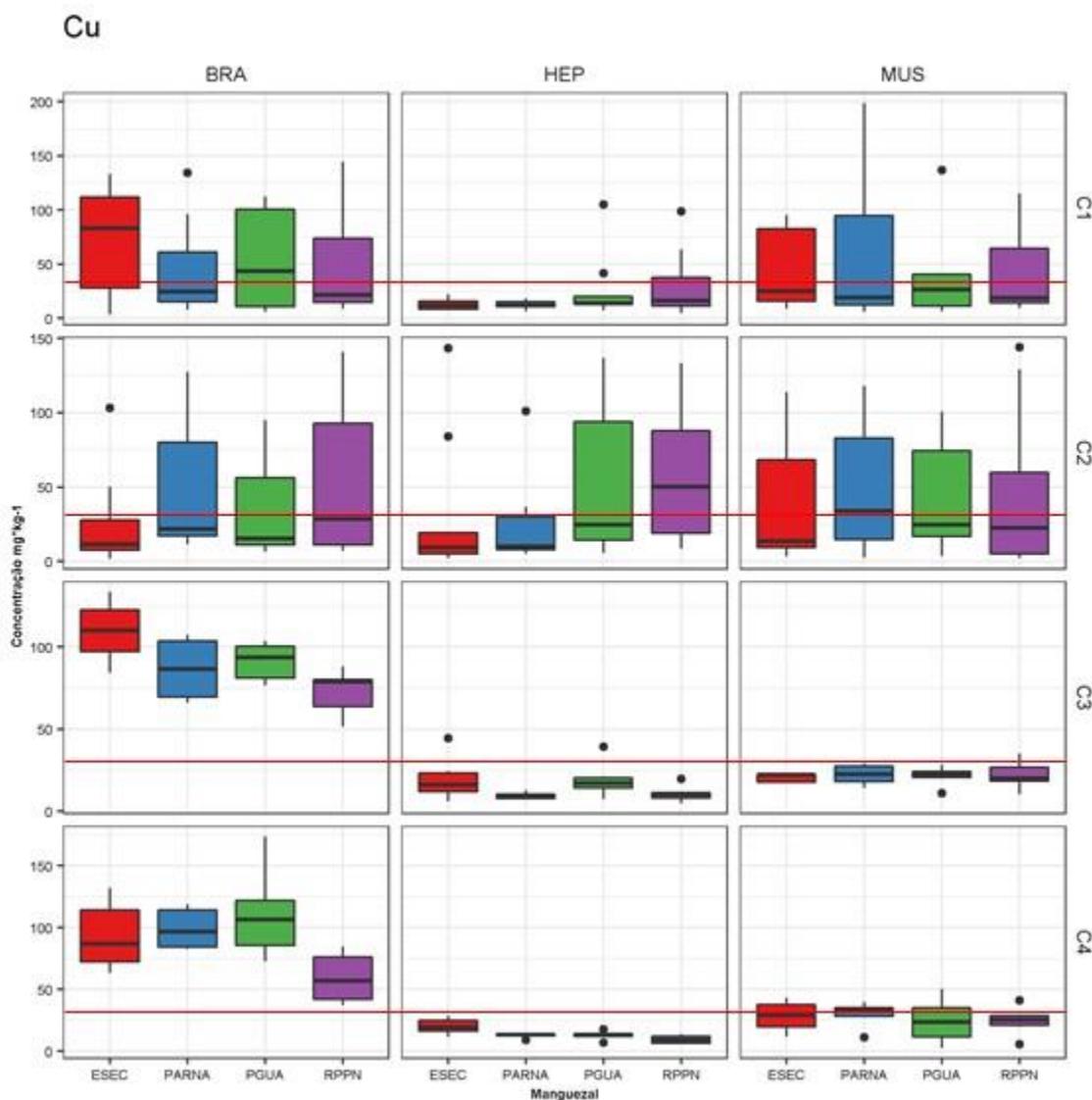


Figura 9. Concentrações de cobre (Cu) obtidas nas brânquias (BRA), hepatopâncreas (HEP) e musculatura (MUS) de *U. cordatus* nos manguezais paranaenses (ESEC = Estação Ecológica de Guaraqueçaba, PARNA = Parque Nacional de Superagui, RPPN = Reserva Particular de Patrimônio Natural Papagaio da Cara Roxa e PGUA = Paranaguá) nas 4 campanhas amostrais (C1 = verão de 2019, C2 = inverno de 2019, C3 = verão de 2020 e C4 = inverno de 2020). Limites máximos tolerados representados por linha vermelha. Letras diferentes representam diferenças significativas.

### **Cromo (Cr): não essencial – classificação química: metal – elemento-traço**

O elemento Cr (Fig. 10) não diferiu em suas concentrações nas áreas amostrais ( $H(3) = 0,226$ ;  $p = 0,973$ ), feições  $H(1) = 0,001$ ;  $p = 0,982$ ) e tecidos ( $H(2) = 5,151$ ;  $p = 0,076$ ). Para as campanhas amostrais as concentrações mantiveram-se constantes nas três primeiras amostragens, tendo uma queda em C4 ( $H(3) = 29,796$ ;  $p = 0,001$ ) (Tab. 5).

Ao comparar as concentrações obtidas com o LMT observou-se que todos os valores estão acima do LMT para todos os locais, campanhas e tecidos.

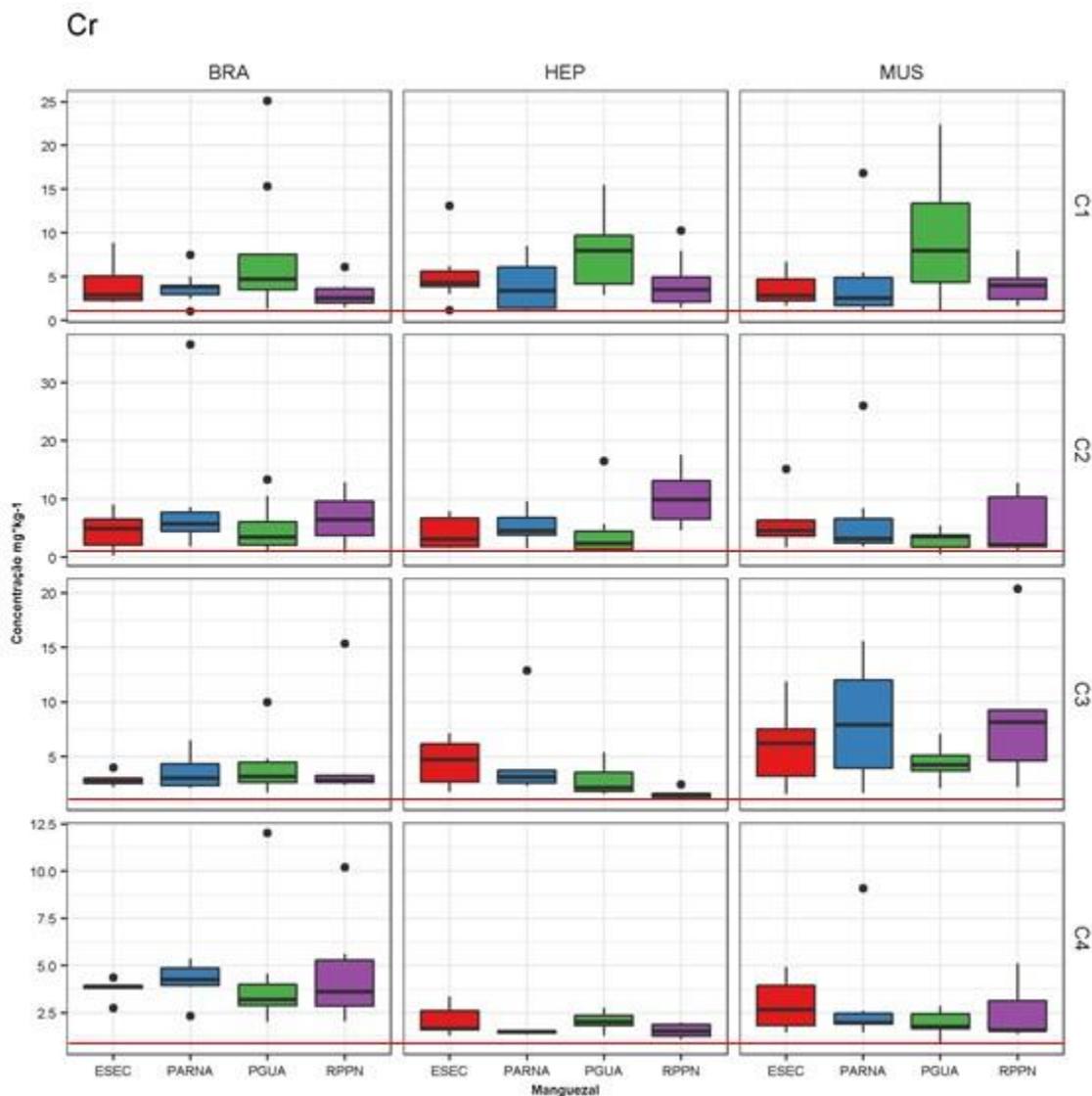


Figura 10. Concentrações de cromo (Cr) obtidas nas brânquias (BRA), hepatopâncreas (HEP) e musculatura (MUS) de *U. cordatus* nos manguezais paranaenses (ESEC = Estação Ecológica de Guaraqueçaba, PARNA = Parque Nacional de Superagui, RPPN = Reserva Particular de Patrimônio Natural Papagaio da Cara Roxa e PGUA = Paranaguá) nas 4 campanhas amostrais (C1 = verão de 2019, C2 = inverno de 2019, C3 = verão de 2020 e C4 = inverno de 2020). Limites máximos tolerados representados por linha vermelha. Letras diferentes representam diferenças significativas.

### Selênio (Se): essencial – classificação química: ametal – elemento-traço

As concentrações de Se (Fig. 11) variaram entre as áreas ( $H(3) = 10,560$ ;  $p = 0,014$ ) com os menores valores para a RPPN (diferindo de PGUA), e entre as campanhas ( $H(3) = 20,838$ ;  $p = 0,000$ ) com C3 e C4 expressando valores superiores. Já para os tecidos, observou-se maiores concentrações para o hepatopâncreas e menores para a

musculatura. ( $H(2) = 17,249$ ;  $p = 0,000$ ). As feições foram as únicas variáveis que não diferiram ( $H(1) = 0,501$ ;  $p = 0,479$ ) (Tab. 5).

Ao comparar os valores das concentrações de selênio com o LMT, observou-se que todos os locais, campanhas e tecidos ultrapassaram os valores do LMT.

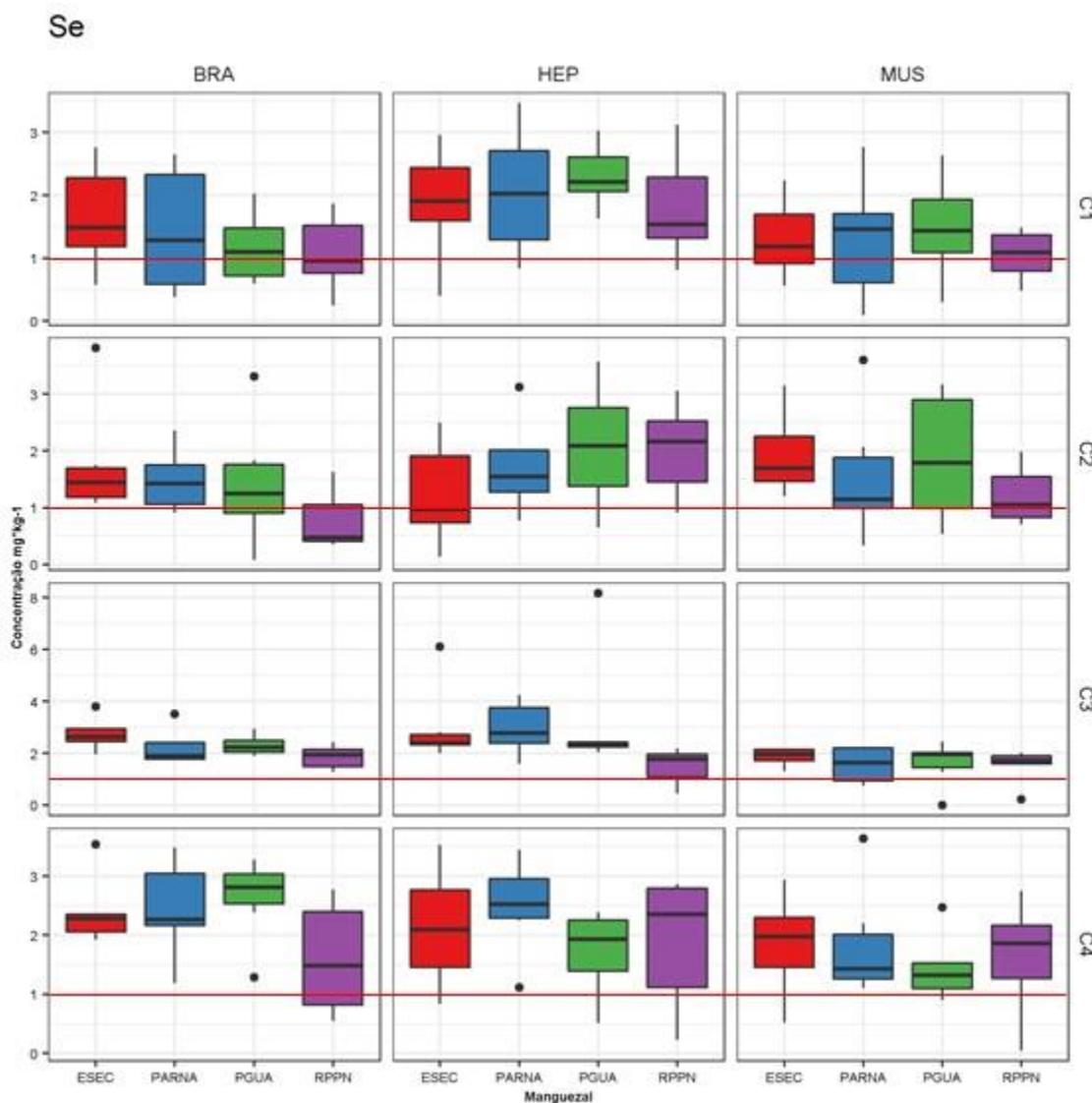


Figura 11. Concentrações de selênio (Se) obtidas nas brânquias (BRA), hepatopâncreas (HEP) e musculatura (MUS) de *U. cordatus* nos manguezais paranaenses (ESEC = Estação Ecológica de Guaraqueçaba, PARNA = Parque Nacional de Superagui, RPPN = Reserva Particular de Patrimônio Natural Papagaio da Cara Roxa e PGUA = Paranaguá) nas 4 campanhas amostrais (C1 = verão de 2019, C2 = inverno de 2019, C3 = verão de 2020 e C4 = inverno de 2020). Limites máximos tolerados representados por linha vermelha. Letras diferentes representam diferenças significativas.

### Zinco (Zn): essencial – classificação química: metal – elemento-traço

As concentrações de zinco (Fig. 12) não apresentaram diferenças entre as áreas ( $H(3) = 3,389$ ;  $p = 0,335$ ), feições ( $H(1) = 0,007$ ;  $p = 0,935$ ) e campanhas ( $H(3) = 5,898$ ;

$p = 0,117$ ). Já para os tecidos foram observadas maiores concentrações para a musculatura ( $H(2) = 34,876$ ;  $p = 0,000$ ) (Tab. 5).

Ademais, as concentrações de zinco estavam acima do LMT entre os locais e os tecidos para C1 e C2. Já as brânquias em C3 e C4 estavam de acordo com os LMT, e no hepatopâncreas apenas a RPPN em C3 e ESEC e PARNA em C4 estavam em conformidade.

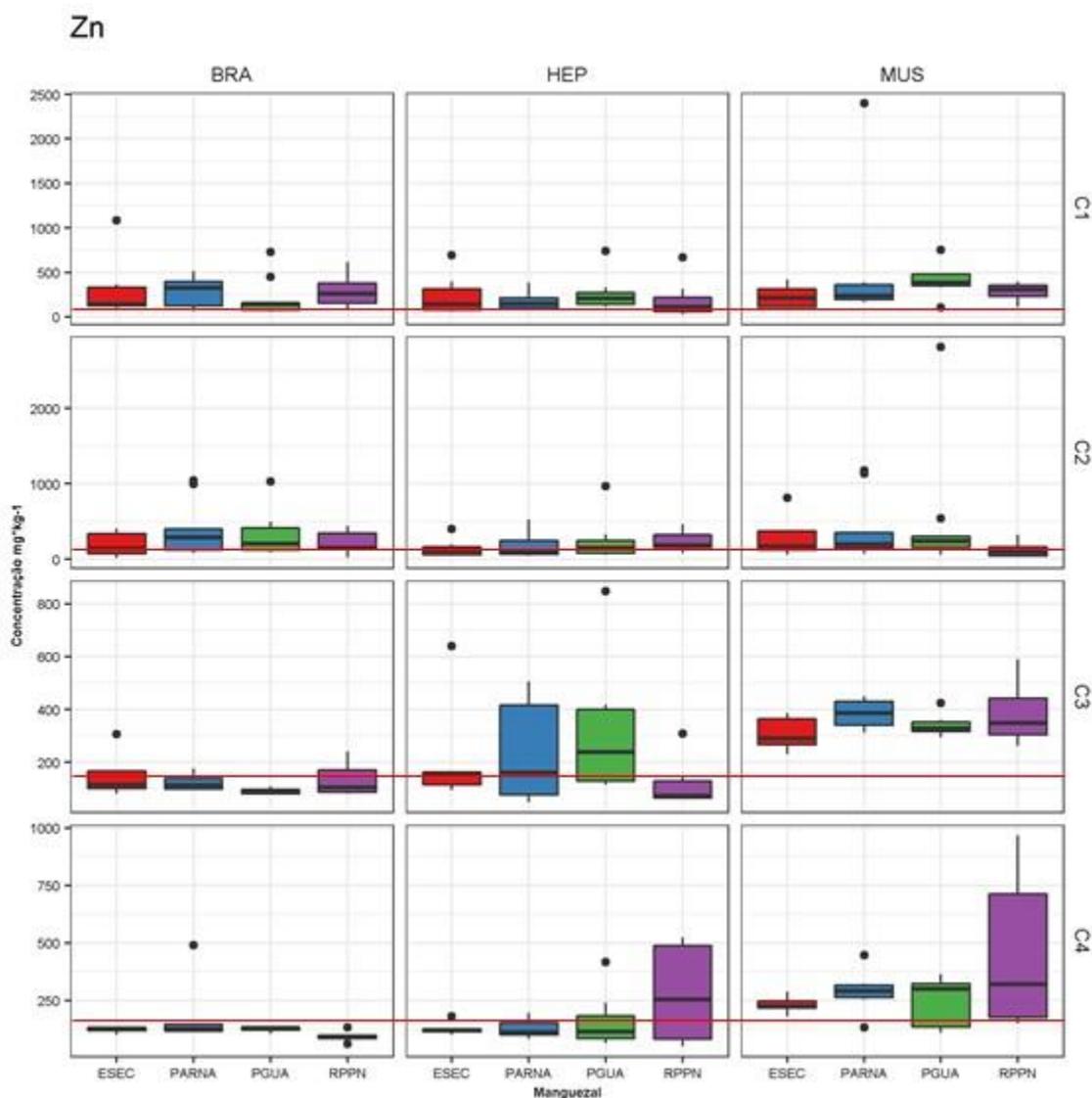


Figura 12. Concentrações de zinco (Zn) obtida nas brânquias (BRA), hepatopâncreas (HEP) e musculatura (MUS) de *U. cordatus* nos manguezais paranaenses (ESEC = Estação Ecológica de Guaraqueçaba, PARNA = Parque Nacional de Superagui, RPPN = Reserva Particular de Patrimônio Natural Papagaio da Cara Roxa e PGUA = Paranaguá) nas 4 campanhas amostrais (C1 = verão de 2019, C2 = inverno de 2019, C3 = verão de 2020 e C4 = inverno de 2020). Limites máximos tolerados representados por linha vermelha. Letras diferentes representam diferenças significativas.

**Cálcio (Ca): essencial – classificação química: metal**

Os valores médios obtidos da concentração de Ca (Fig. 13) não variaram entre as feições dos manguezais ( $H(1) = 1,280$ ;  $p = 0,258$ ). Entretanto, foram observadas diferenças entre as áreas amostrais do PARNA e PGUA ( $H(3) = 10,811$ ;  $p = 0,013$ ), tendo PARNA maiores valores. As campanhas amostrais também variaram ( $H(3) = 17,408$ ;  $p = 0,001$ ), tendo a C2 os maiores valores. Nos tecidos a variação observada ( $H(3) = 48,038$ ;  $p = 0,000$ ) relatou concentrações quase dobradas na musculatura quando comparadas aos demais tecidos, seguidos pelas brânquias e hepatopâncreas, consecutivamente (Tab. 5).

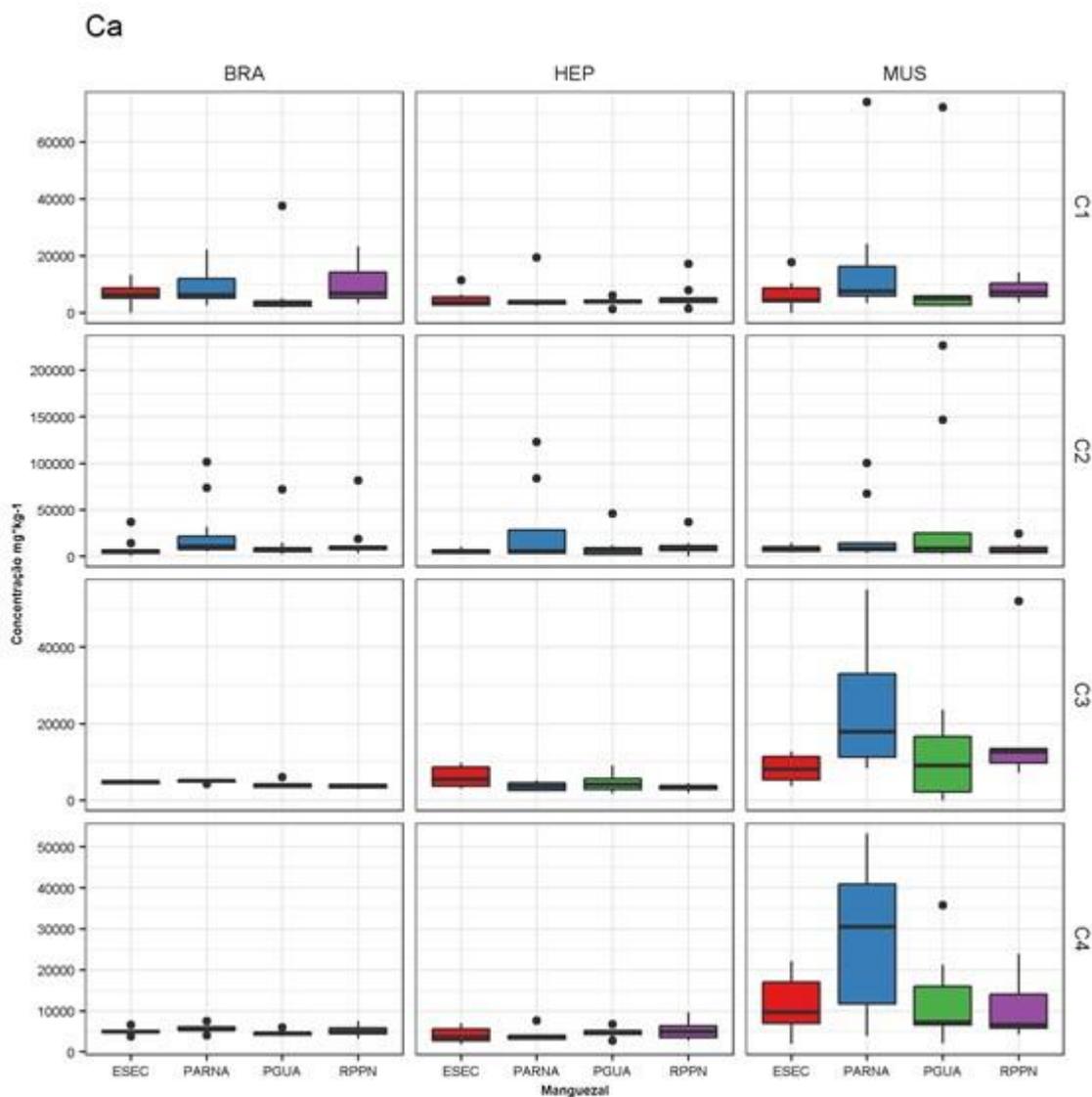


Figura 13. Concentrações de cálcio (Ca) obtidas nas brânquias (BRA), hepatopâncreas (HEP) e musculatura (MUS) de *U. cordatus* nos manguezais paranaenses (ESEC = Estação Ecológica de Guaraqueçaba, PARNA = Parque Nacional de Superagui, RPPN = Reserva Particular de Patrimônio Natural Papagaio da Cara Roxa e PGUA = Paranaguá) nas 4 campanhas amostrais (C1 = verão de 2019, C2 = inverno de 2019, C3 = verão de 2020 e C4 = inverno de 2020). Limites máximos tolerados representados por linha vermelha. Letras diferentes representam diferenças significativas.

### Manganês (Mn): essencial – classificação química: metal

Para as concentrações de Mn (Fig. 14) não foram observadas diferenças entre as áreas ( $H(3) = 1,276$ ;  $p = 0,735$ ). Para as campanhas, no geral foram observados maiores valores nos verões, porém significativamente apenas C1 diferiu das demais e C2 de C4 ( $H(3) = 102,430$ ;  $p = 0,000$ ). Para os tecidos, a diferença ocorreu nas concentrações da musculatura com os demais tecidos ( $H(2) = 32,443$ ;  $p = 0,000$ ) e com a musculatura com as menores concentrações (Tab. 5).

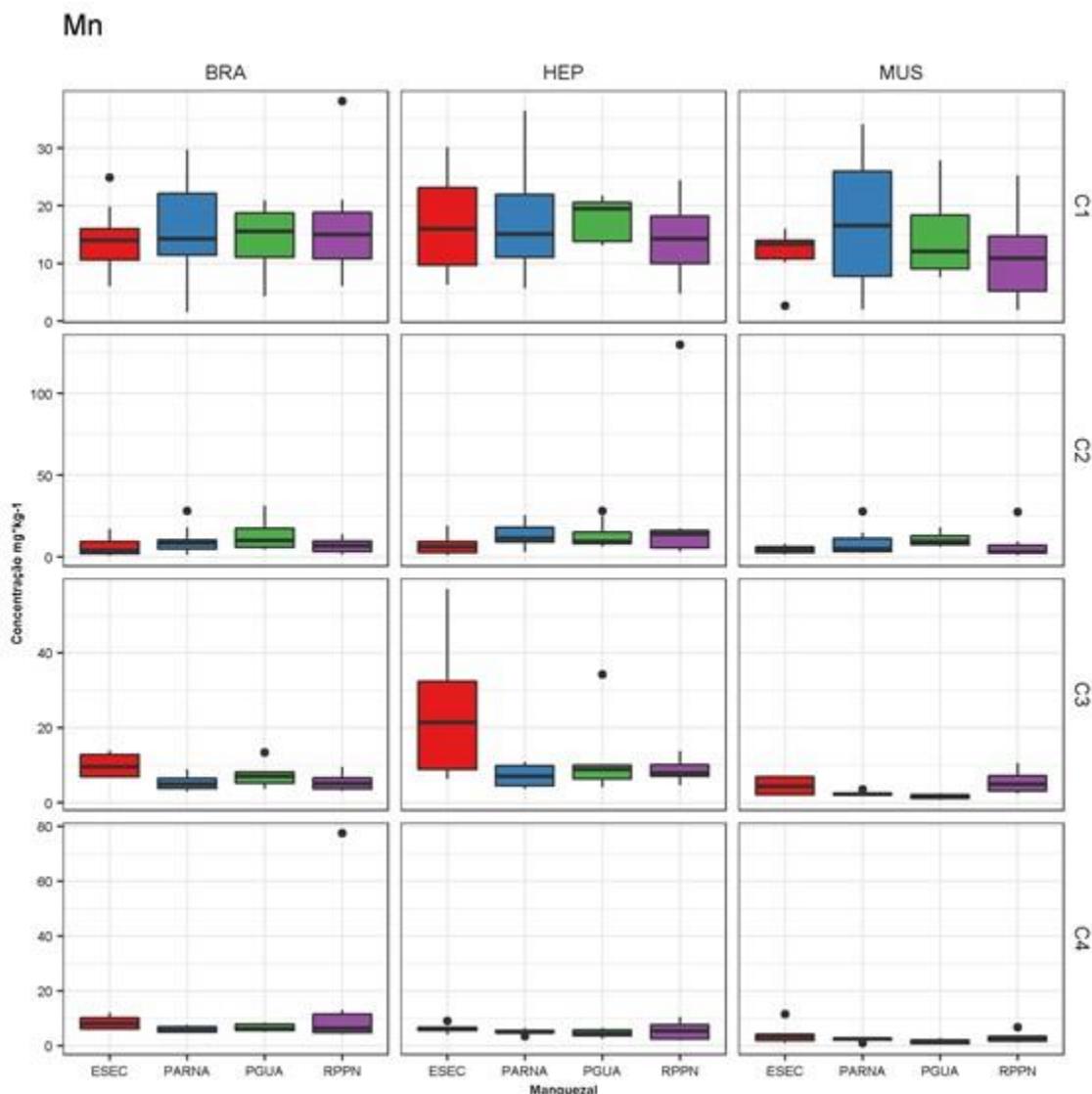


Figura 14. Concentrações de manganês (Mn) obtidas nas brânquias (BRA), hepatopâncreas (HEP) e musculatura (MUS) de *U. cordatus* nos manguezais paranaenses (ESEC = Estação Ecológica de Guaraqueçaba, PARNA = Parque Nacional de Superagui, RPPN = Reserva Particular de Patrimônio Natural Papagaio da Cara Roxa e PGUA = Paranaguá) nas 4 campanhas amostrais (C1 = verão de 2019, C2 = inverno de 2019, C3 = verão de 2020 e C4 = inverno de 2020). Limites máximos tolerados representados por linha vermelha. Letras diferentes representam diferenças significativas.

### Magnésio (Mg): essencial – classificação química: metal

As concentrações de Mg (Fig. 15) não mostraram diferenças apenas entre as áreas ( $H(3) = 1,122$ ;  $p = 0,772$ ). Para as feições, as maiores concentrações foram observadas para a bacia  $H(1) = 7,358$ ;  $p = 0,007$ ), as campanhas tenderam a apresentar diferenças sazonais com maiores valores nos verões, porém significativamente apenas C1 foi diferente de C2 e C4, e C3 diferiu apenas de C4 ( $H(3) = 28,752$ ;  $p = 0,002$ ). Nos tecidos as concentrações foram significativamente maiores no hepatopâncreas ( $H(2) = 22,058$ ;  $p = 0,016$ ) (Tab. 5).

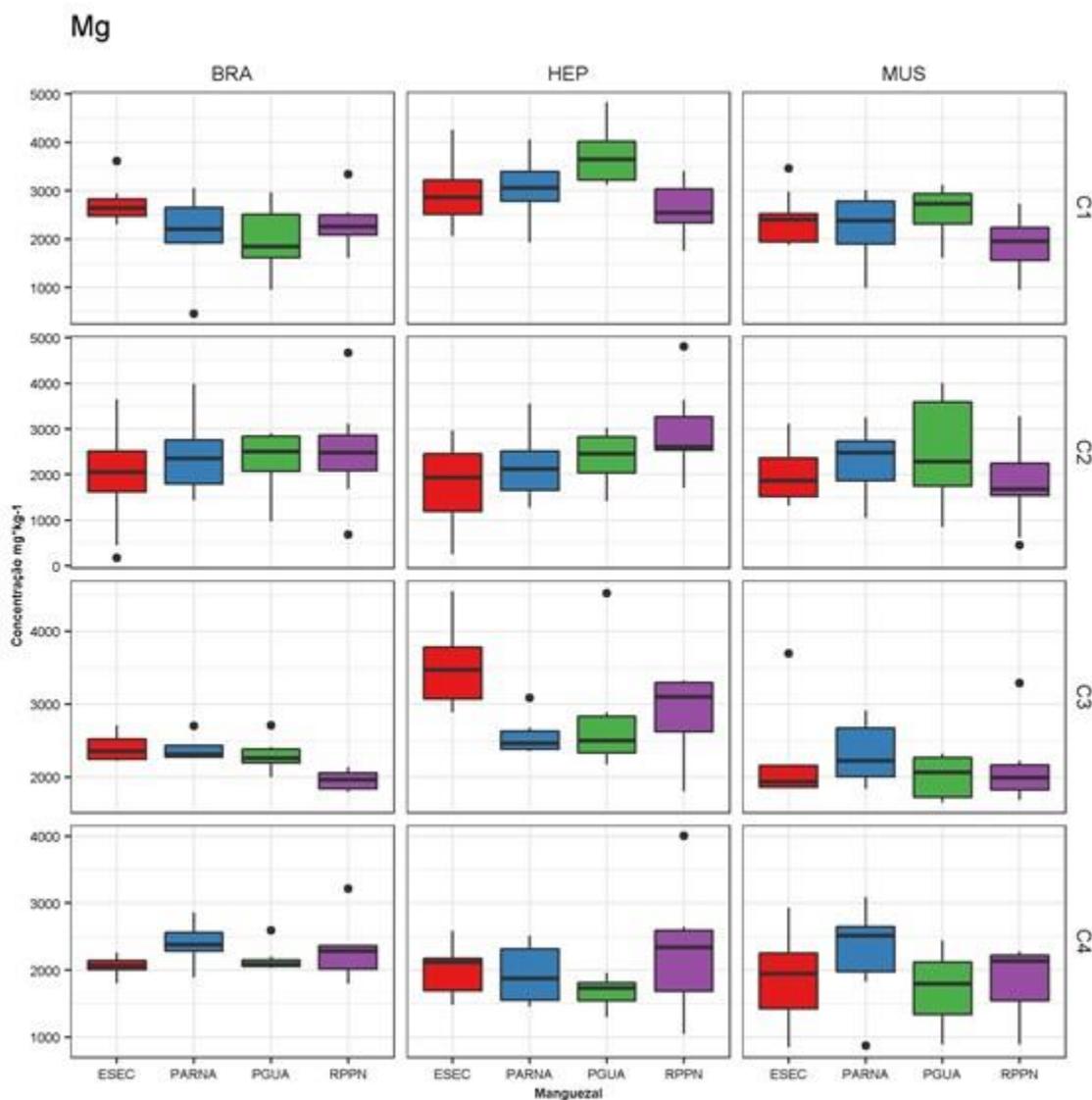


Figura 15. Concentrações de magnésio (Mg) obtidas nas brânquias (BRA), hepatopâncreas (HEP) e musculatura (MUS) de *U. cordatus* nos manguezais paranaenses (ESEC = Estação Ecológica de Guaraqueçaba, PARNA = Parque Nacional de Superagui, RPPN = Reserva Particular de Patrimônio Natural Papagaio da Cara Roxa e PGUA = Paranaguá) nas 4 campanhas amostrais (C1 = verão de 2019, C2 = inverno de 2019, C3 = verão de 2020 e C4 = inverno de 2020). Limites máximos tolerados representados por linha vermelha. Letras diferentes representam diferenças significativas.

## Bioacumulação

Confrontando as concentrações dos elementos nos tecidos com as variáveis morfométricas dos indivíduos (Fig. 16), observou-se uma correlação positiva das concentrações de cádmio nas brânquias com o LC ( $r = 0,42$ ;  $p = 0,004$ ), CC ( $r = 0,39$ ;  $p = 0,009$ ) e P ( $r = 0,32$ ;  $p = 0,000$ ), e para o chumbo nas brânquias com o LC ( $r = 0,41$ ;  $p = 0,006$ ) e CC ( $r = 0,40$ ;  $p = 0,007$ ). Para a musculatura as correlações positivas também foram para o cádmio com o LC ( $r = 0,49$ ;  $p = 0,007$ ), CC ( $r = 0,43$ ;  $p = 0,004$ ) e P ( $r = 0,39$ ;  $p = 0,00$ ), e para o chumbo, com o LC ( $r = 0,42$ ;  $p = 0,005$ ) e CC ( $r = 0,37$ ;  $p = 0,000$ ). Além disso, o IC foi correlacionado positivamente com as concentrações de cálcio na musculatura ( $r = 0,39$ ;  $p = 0,009$ ) evidenciando a bioacumulação em *U. cordatus* conforme o aumento de tamanho dos indivíduos.

Correlações negativas foram observadas entre as concentrações de cálcio nas brânquias e o LC ( $r = 0,39$ ;  $p = 0,009$ ), CC ( $r = 0,39$ ;  $p = 0,009$ ) e P ( $r = 0,39$ ;  $p = 0,009$ ) e entre as concentrações de cobre na musculatura e o LC ( $r = 0,39$ ;  $p = 0,009$ ) e CC ( $r = 0,39$ ;  $p = 0,009$ ).

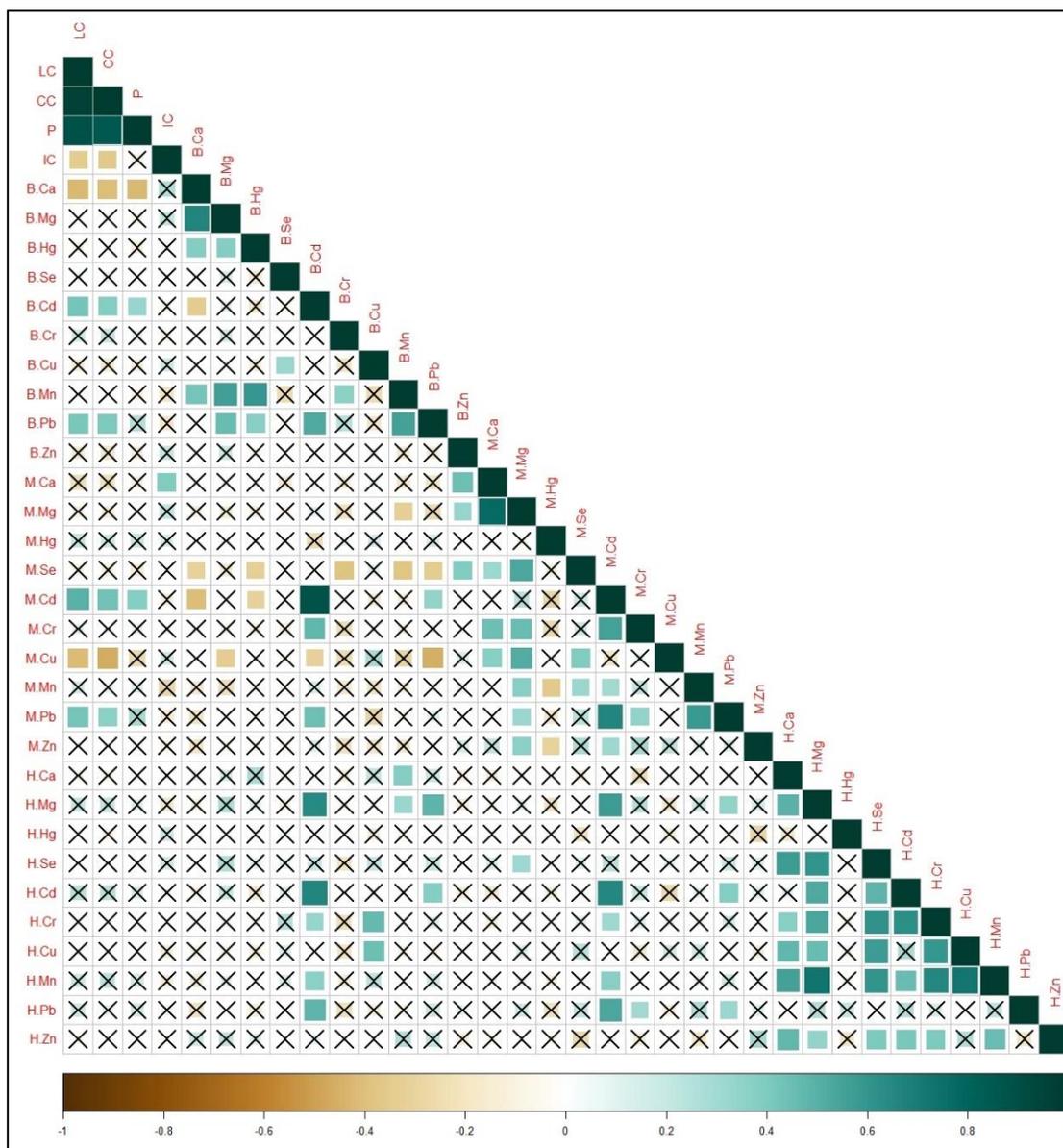


Figura 16. Correlação de Spearman entre as concentrações dos dez elementos químicos e das variáveis morfométricas de *Ucides cordatus*. B. = brânquia, M. = musculatura, H. = hepatopâncreas, Ca = cálcio, Mg = magnésio, Hg = mercúrio, Se = selênio, Cd = cádmio, Cr = cromo, Mg = magnésio, Se = selênio, Mn = manganês, Pb = chumbo, Zn = zinco, LC = largura da carapaça, CC = comprimento da carapaça. P = peso úmido e IC = Índice de condição. X = correlação não significativa.

## DISCUSSÃO

### Parâmetros populacionais

A relação de peso-comprimento vem sendo amplamente utilizada nas análises pesqueiras, uma vez que, ao obter os valores desta relação, é possível realizar a conversão de uma variável na outra, além de detectar mudanças morfológicas ontogênicas. Adicionalmente, a relação peso-comprimento é de extrema relevância para a elaboração de políticas públicas voltadas para o manejo sustentável de espécies com forte viés socioeconômico (FROESE, 2006).

Alguns autores obtiveram coeficientes "b" com valores similares aos encontrados no presente trabalho, apesar de considerarem as populações do caranguejo-uçá com crescimento alométrico negativo tendendo ao isométrico. Ou seja, o aumento da largura da carapaça tende a ser menor do que o ganho de peso nas populações de caranguejo (ARAÚJO e CALADO, 2008; PINHEIRO e FISCARELLI, 2009; AZEVÊDO, 2017).

Monitorar o desenvolvimento das populações de caranguejo-uçá é de fundamental importância, e o índice de condição (IC) é uma excelente ferramenta para esse propósito. Nos crustáceos, o IC atua como um indicador relevante do "bem-estar" da população, pois sinaliza a resiliência das populações diante das mudanças antropogênicas e/ou naturais no habitat, ou seja, alterações nos valores do IC podem estar associadas a infecções parasitárias, outras doenças, bem como à escassez de alimento e a fatores climáticos (FROESE, 2006).

Para o caranguejo-uçá, o IC não demonstrou diferenças sazonais, nem entre os sexos. Azevêdo (2017), contudo, relatou que em espécies de braquiúros o IC tende a ser maior em períodos chuvosos e durante o período reprodutivo, o que não encontra correlação com os dados obtidos. Ressalta-se, no entanto, que as amostragens não foram realizadas no período reprodutivo.

Todos os valores do IC obtidos no atual trabalho foram inferiores aos observados para as populações de uçá estudadas por Pinheiro e Fiscarelli (2009), que relataram valores variando de  $6,71 \text{ E}^{-04}$  a  $4,53 \text{ E}^{-04}$ , e por Azevêdo (2017), que encontrou valores médios de  $6,62 \text{ E}^{-04}$ . Questões ambientais dos próprios ecossistemas, como o clima, o hidrodinamismo e o grau de antropização variam entre os manguezais brasileiros, dificultando, por consequência, a comparação do IC entre áreas distintas (PINHEIRO e FISCARELLI, 2009).

Além disso, para as populações de *U. cordatus* o processo de muda é um fator oscilante do IC, principalmente a “muda nupcial”, que geralmente ocorre uma vez ao ano após a muda da puberdade. A “muda nupcial” acontece pré período reprodutivo, quando as reservas energéticas estão voltadas para o acasalamento, maturação gonadal e desova, acarretando no “emagrecimento dos caranguejos” (PINHEIRO, 2004; PINHEIRO e FISCARELLI, 2009).

Apesar da importância do IC, ressalta-se que ele não deve ser utilizado como o único fator de avaliação do bem-estar das populações, mas sim deve ser empregado em conjunto com outros parâmetros que contribuam para a definição sobre a saúde geral das populações (AZEVEDO, 2017).

Entre os manguezais do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), observou-se valores de IC discrepantes apenas para o manguezal não protegido (PGUA), com valores inferiores ao Parque Nacional de Superagui (PARNA) e à Estação Ecológica de Guaraqueçaba (ESEC). Estudos anteriores relataram que as populações dos manguezais estudados possuem densidades equivalentes; no entanto, o manguezal não preservado apresentou percentuais elevados de indivíduos menores em comparação aos demais manguezais (GONÇALVES *et al.*, 2022). Sugere-se que, apesar de estarem inseridos no mesmo complexo estuarino, fatores possivelmente antrópicos devido à sua localização estejam retardando o desenvolvimento das populações de PGUA.

### **Elementos-traço**

Apesar de não terem sido encontradas diferenças, os manguezais do CEP necessitam de uma análise cuidadosa em relação à sua contaminação, uma vez que suas localizações geográficas sugerem a existência de diferenças antrópicas entre eles, principalmente no que diz respeito ao manguezal não protegido.

Da mesma forma que as áreas, as feições não diferiram significativamente para a grande maioria dos elementos; no entanto, foram observadas tendências de maiores concentrações dos elementos nas feições da bacia, com exceção do selênio e do zinco. Isso ocorreu provavelmente devido à menor frequência de inundação das bacias em comparação com a franja dos manguezais, resultando em uma maior taxa de deposição de sais. Além disso, devido à reduzida taxa de inundação, essas feições acabam exportando menos matéria orgânica (SCHAEFFER-NOVELLI *et al.*, 2005; LIMA e TOGNELLA, 2012), o que, por sua vez, resulta em um maior aporte de contaminantes.

Entre os tecidos, o hepatopâncreas foi o que apresentou a maior bioacumulação de elementos, notadamente os não essenciais Hg e Pb, o que demonstra a importância desse órgão na função metabólica de detoxificação do organismo (ORTEGA *et al.*, 2014).

### **Cd, Hg e Pb**

A bioacumulação nos tecidos do caranguejo é preocupante, principalmente de elementos não essenciais como Cd, Hg e Pb. O Cd é um metal não essencial e sua ação toxicológica é amplamente discutida e comumente correlacionada a danos e à acumulação nos tecidos (CHRISTENSEN e TUCKER, 1976). O mercúrio é descrito como um componente tóxico e sem função biológica conhecida (ANUAL *et al.*, 2018). Já o Pb é

um importante constituinte de tecidos gonadais nos crustáceos (BERGEY e WEIS, 2007). No entanto, há uma linha tênue entre a concentração necessária e a excessiva, uma vez que mesmo em doses supostamente seguras, *U. cordatus* desencadeia seus mecanismos de defesa, produzindo mais metalotioneína e apresentando danos citogenotóxicos significativos nas brânquias (DUARTE *et al.*, 2020).

A bioacumulação desses elementos pode ocorrer em tecidos específicos ou de modo generalizado. Estudos demonstraram a bioacumulação do Pb nas brânquias de diferentes espécies de crustáceos, tais como *U. cordatus* (MOHAPATRA *et al.*, 2009; DUARTE *et al.*, 2020), *Goniopsis cruentata* (CARNEIRO *et al.*, 2016), *Callinectes sapidus* (ÇOĞUN *et al.*, 2017) e *Callinectes danae* (BORDON *et al.*, 2018).

A acumulação de Cd em *U. cordatus* foi observada em diversos tecidos, incluindo a musculatura (LOPES e LIMA, 2012) o hepatopâncreas (RAMOS *et al.*, 2012) e as brânquias (SILVA *et al.*, 2018a). Isso confirma a eficácia de seu uso como bioindicador do elemento, corroborando os dados obtidos

Em experimentos laboratoriais, a bioacumulação de Pb foi mais significativa nas brânquias e no hepatopâncreas do que na hemolinfa, musculatura e carapaça. No entanto, as brânquias concentraram mais Pb do que o hepatopâncreas. Os resultados deste estudo estão parcialmente em desacordo com a literatura consultada, que sugere que, apesar das brânquias acumularem o metal Pb, o hepatopâncreas é o tecido com as concentrações mais elevadas desse metal. É importante ressaltar que o tempo de exposição ao contaminante é um fator crucial a ser considerado. No caso da musculatura de *U. cordatus*, os resultados obtidos mostraram valores acima dos limites estabelecidos pela legislação, semelhantes aos observados por Lopes e Lima (2012).

Estudos experimentais sobre a exposição ao Cd no caranguejo violinista *Uca pugilator* demonstraram que, após dez dias de exposição, as células neurosecretoras do cérebro e dos gânglios oculares sofreram danos (FINGERMAN *et al.*, 1996).

O importante papel desintoxicante das brânquias frente à presença de Cd deve-se ao acúmulo de cádmio por meio de organelas, vacúolos e grânulos de células branquiais posteriores. Já a acumulação de Cd no hepatopâncreas ocorre devido à ligação do Cd com a metalotioneína presente no citoplasma da célula (AMIARD *et al.*, 2006; ORTEGA *et al.*, 2014; ORTEGA *et al.*, 2017a). O Cd tende a acumular no hepatopâncreas e na musculatura conforme os indivíduos crescem (PINHEIRO *et al.*, 2012), uma vez que o hepatopâncreas é responsável pela função desintoxicante e a musculatura da quele apresenta altos níveis de mitocôndrias (AHEARN *et al.*, 2004).

Concentrações crescentes de Cd e Zn observadas no hepatopâncreas foram correlacionadas a alterações fisiológicas em *Callinectes danae* e *U. cordatus*, ocasionando a diminuição do *fitness* dos indivíduos, ou seja, o acúmulo de Cd e Zn geraram uma diminuição das taxas de crescimento e de reprodução (HARRIS e SANTOS, 2000).

Assim como outros elementos, o crescimento gradativo das concentrações de Cd em *U. cordatus* é associado à mortalidade (MAIER, 2016), confirmando a importância do monitoramento contínuo das concentrações desse elemento.

A bioacumulação de Pb, Cd e Hg tende a afetar o sistema nervoso, estando associada à origem dos efeitos de necroses em lagostins, ocasionando principalmente a picnose nuclear, a desorganização mitocondrial, o desenvolvimento anormal, o colapso de vesículas de Golgi e a fragmentação do retículo endoplasmático. Além disso, esses metais são descritos como retardantes da regeneração de membros e do processo de muda em *Uca pugilator* (FINGERMAN *et al.*, 1996).

A capacidade nociva do Hg é devida ao fato de que este composto é capaz de passar através de membranas celulares por difusão passiva, e uma vez dentro da célula, exerce sua ação tóxica interagindo com fosfolípidios em membranas celulares, podendo ocasionar a disfunção da membrana celular. Além disso, íons de Hg, Pb, Cu e Cd no interior das células podem inibir enzimas e alterar a função mitocondrial, assim como a divisão celular (FINGERMAN *et al.*, 1996).

### **Cu, Cr e Zn**

Para *U. cordatus* o cobre tem função estrutural em aspectos reprodutivos, sendo um importante constituinte na produção de ovos. Essa função acarreta uma maior acumulação de cobre nas fêmeas da espécie (SILVA *et al.*, 2018b), no entanto não foram observadas diferenças significantes nas concentrações desse elemento entre os sexos no presente estudo.

Além disso, no período de pós-muda o cobre é utilizado para a síntese de hemocianina e para o endurecimento do exoesqueleto (KETELES e FLEEGER, 2001). Durante o processo de muda, o cobre, juntamente com outros elementos, pode acumular na carapaça e serem reabsorvidos (como os elementos essenciais), regulados (como o zinco) ou eliminados (como o chumbo) pela troca da carapaça durante a ecdise, como observado para o siri *Scylla serrata* (MOHAPATRA *et al.*, 2009).

Devido a sua falta de função biológica, mesmo em baixas concentrações o cromo é considerado tóxico e a exposição crônica em invertebrados marinhos pode causar diminuição das taxas de crescimento, reprodução e sobrevivência da prole (LU e KACEW, 2013).

O zinco é um micronutriente essencial para a manutenção de processos fisiológicos e metabólicos, como a formação da carapaça e o processo de muda (MOHAPATRA *et al.*, 2009).

O acúmulo de cobre, cromo e zinco nos tecidos ocorre de maneiras distintas. Para o cobre, as brânquias demonstram ser o tecido mais suscetível à acumulação em crustáceos como *G. cruentata* (CARNEIRO, 2016), *U. cordatus* (PINHEIRO *et al.*, 2012; RAMOS *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2018b) e *C. danae* (HARRIS e SANTOS, 2000), corroborando o que foi observado no presente estudo.

Quanto ao cromo, a acumulação nos tecidos de *U. cordatus* não apresenta padrões definidos, ocorrendo em todos os tecidos, conforme relatado por Pinheiro *et al.* (2012) e Lopes e Lima (2012). Além disso, ambos os autores reportaram concentrações acima do permitido, corroborando, assim, os resultados do presente estudo.

Já o zinco tende a acumular em tecidos musculares de *U. cordatus* (HARRIS e SANTOS, 2000; RAMOS *et al.*, 2012). Entretanto, em áreas contaminadas, o acúmulo ocorre no hepatopâncreas, indicando que este tecido atua como local de armazenamento quando o Zn está presente em altas concentrações no ambiente (CORRÊA JUNIOR *et al.*, 2000). A bioacumulação de zinco nos tecidos ocorre devido à formação de grânulos amorfos no hepatopâncreas, sendo esses grânulos principalmente compostos por Mg, P e Ca, encontrados na região mineralizada dos grânulos, o que pode interferir na disponibilidade de Ca-Zn para o organismo (CORRÊA JUNIOR *et al.*, 2000).

O cobre, juntamente com o cromo, chumbo e zinco são elementos considerados como elementos persistentes no ambiente, uma vez que em altas concentrações podem permanecer no mínimo dez anos nos ecossistemas costeiros. Assim, a acumulação desses elementos nos tecidos pode retratar principalmente a exposições contínuas, porém exposições pontuais também são capazes de desencadear o acúmulo (LOPES e LIMA, 2012).

## Se

O selênio é um importante elemento para o desenvolvimento larval dos crustáceos. Foi demonstrado que as larvas de *Uca pugnax*, *Sesarma reticulatum* e *Semibalanus bolunoides* apresentaram uma melhor taxa de sobrevivência em concentrações

intermediárias de selênio em comparação com altas taxas e taxas muito reduzidas. Entretanto, deformidades teratogênicas em organismos aquáticos podem estar correlacionadas com a toxicidade por selênio (ANASTASIA *et al.*, 1998).

O excesso de selênio nos adultos pode se depositar nos ovos durante sua formação, por meio da substituição do enxofre pelo selênio na formação de suas proteínas (SEIXAS e KEHRIG, 2007).

Em um estudo que utilizou apenas a musculatura de *U. cordatus*, foi relatada uma maior acumulação de selênio associado ao mercúrio, e a principal fonte de contaminação provavelmente advém das folhas dos bosques de manguezal (SANTOS e SILVA, 2017). Com base nos resultados do estudo atual, as elevadas concentrações de selênio em todos os tecidos sugerem que a fonte de contaminação também pode ser o recurso hídrico.

## Ca

O cálcio é um componente fundamental nas carapaças dos crustáceos, desempenhando um papel central nesse aspecto. Sua regulação demonstra eficiência notável, tendo em vista a necessidade dos crustáceos de realizar a ecdise (AHEARN *et al.*, 2004; LUQUET, 2012).

O epitélio das brânquias e das carapaças dos crustáceos exibe fluxos significativos de cálcio, variando de acordo com o estágio da muda. Apesar de não significativos, os valores de cálcio tendem a apresentar maiores concentrações no verão (C1 e C3) e menores no inverno (C2 e C4), coincidindo com o período de muda de *U. cordatus*. Isso pode ser um efeito da liberação de cálcio para a carapaça antes da ecdise, conforme observado em *Scylla serrata* por Mohapatra *et al.* (2009).

A osmorregulação do cálcio durante o processo de muda é de fundamental importância. Durante a muda, as concentrações de cálcio na hemolinfa aumentam devido às elevadas taxas de absorção de cálcio. Isso sugere uma dependência do cálcio em espécies de crustáceos que habitam ambientes ricos nesse elemento (NEUFELD e CAMERON, 1993).

Além disso, a estabilidade da osmorregulação do cálcio é crucial. Isso ocorre devido à semelhança do raio iônico do cálcio com o chumbo, o que possibilita que íons de chumbo entrem na célula utilizando os mesmos canais de cálcio. Portanto, a instabilidade na osmorregulação de cálcio pode favorecer a entrada de chumbo no organismo (RAINBOW, 2007).

## Mn

A acumulação de Mn frente aos tecidos dos crustáceos demonstra variações específicas de acordo com o indivíduo e a área de estudo. Em *G. cruentata*, a acumulação ocorreu principalmente nos hepatopâncreas das fêmeas (CARNEIRO, 2016). No caso de *U. cordatus*, em um estudo realizado exclusivamente nos tecidos branquiais e musculares, observou-se uma maior acumulação nas brânquias, um tecido que demonstra ser sensível às variações ambientais devido ao contato direto com a água do ambiente (SILVA *et al.*, 2018a). Em outro estudo com *U. cordatus*, não foram encontradas diferenças significativas entre os tecidos; no entanto, foram relatados teores mais elevados em indivíduos maiores, sugerindo a existência de acúmulo do elemento em todos os tecidos, com concentrações crescentes à medida que os indivíduos se desenvolvem, evidenciando a acumulação crônica do metal (PINHEIRO *et al.*, 2012).

Para espécies de invertebrados aquáticos, as elevadas concentrações de Mn presentes na água podem ser prejudiciais para a manutenção da vida dos organismos, uma vez que esse elemento pode ser adsorvido nos tecidos branquiais, dificultando os processos respiratórios, conforme observado no caranguejo de água doce *Potamonautes warreni* (SANDERS *et al.*, 1998). Além disso, caranguejos de água doce, como o *Trichodactylus fluviatilis*, apresentam alterações sazonais nas concentrações de Mn nos tecidos, com maiores concentrações no inverno, assim como diferenças entre os tecidos, sendo o hepatopâncreas o órgão com o maior acúmulo (CHAGAS, 2008).

Pouco se tem conhecimento sobre os efeitos prejudiciais da contaminação por manganês em caranguejos semiterrestres. No entanto, no que se refere aos seres humanos, esta questão tem sido amplamente explorada. A contaminação por manganês em seres humanos é frequentemente discutida, principalmente em relação à exposição por via respiratória, enquanto a ingestão de manganês através da alimentação é geralmente considerada de baixa toxicidade. A contaminação por manganês em seres humanos é denominada como "manganismo" e está correlacionada com doenças motoras, como o Parkinson, bem como com a diminuição da atividade dos sistemas neuroanatômicos e neuroquímicos (WHO, 2000).

Além disso, a contaminação por manganês pode resultar em problemas respiratórios e disfunção reprodutiva, sendo que homens inférteis apresentaram níveis mais elevados de manganês no sêmen (WHO, 2000; Li *et al.*, 2012). A contaminação por manganês também está associada a efeitos prejudiciais em outros vertebrados, incluindo roedores e primatas não humanos (GWIAZDA *et al.*, 2007).

## **Mg**

Nos crustáceos o magnésio é regulado pelo processo de ultrafiltração que acontece na glândula antenal, para que, em seguida, o íon seja secretado na urina (FREIRE *et al.*, 2008). A regulação osmótica de Mg da hemolinfa também recebe destaque, uma vez que níveis baixos de magnésio na hemolinfa podem ser um fator limitante para alguns crustáceos, principalmente para os que habitam área frias, uma vez que acarreta problemas de suprimento de oxigênio aos tecidos (FREDERICH *et al.*, 2001).

## **Bioacumulação**

Dentre todas as variáveis morfométricas mensuradas, a largura e comprimento da carapaça apresentaram uma relação direta com o acúmulo de elementos-traço. Além disso, o índice de condição foi outra variável que demonstrou correlações com as concentrações dos elementos. Tanto a bioacumulação quanto a acumulação na cadeia trófica (biomagnificação) são processos que tornam as populações mais vulneráveis, uma vez que suas concentrações aumentam ao longo do tempo, podendo alcançar concentrações letais nos organismos aquáticos (SANTOS *et al.*, 2017).

A associação dos elementos-traço com o desenvolvimento da largura e comprimento da carapaça reflete-se nas interações que determinados elementos químicos assumem quando presentes. No entanto, os efeitos particulares da bioacumulação em tecidos específicos e suas implicações na morfologia dos caranguejos necessitam ser melhor compreendidos.

As correlações observadas entre os elementos-traço e o índice de condição podem ser explicadas por questões imunológicas. Na presença de contaminantes, são desencadeadas reações de óxido-redução que produzem espécies reativas de oxigênio, bem como por meio do sequestro ou da inativação de moléculas que participam dos sistemas de defesa antioxidante, interagindo e modificando moléculas como proteínas, carboidratos e lipídeos, podendo acarretar na "perda de peso" (LUSHCHAK, 2016; PIASSÃO *et al.*, 2018).

A bioacumulação nos crustáceos demonstra variar conforme o local, sendo a antropização um dos principais fatores responsáveis por essa variação (PIASSÃO *et al.*, 2018; JESUS *et al.*, 2020b). Além do mais, a disponibilidade dos contaminantes, principalmente no solo de manguezais, maximiza a ação de bioacumulação no caranguejo-uçá (JESUS *et al.*, 2020b). No presente estudo, as maiores concentrações dos elementos no hepatopâncreas sugerem que a fonte de contaminação seja a alimentação

dos caranguejos, que são as folhas das árvores de manguezal, no entanto, não sendo a fonte exclusiva. Então, dosar as concentrações na água, sedimento e folhas é de fundamental importância para afirmar a principal fonte de contaminantes.

Ademais, a capacidade de bioacumulação dos crustáceos varia de espécie para espécie, principalmente pela capacidade que cada espécie tem de depurar os poluentes, ou seja, a eficiência metabólica na eliminação de determinado poluente varia conforme a espécie. O gênero *Callinectes* é um excelente exemplo da capacidade depuradora de metais, sendo que *C. danae*, *C. bocourti*, *C. ornatus*, *C. exasperatus*, *C. marginatus*, *C. similis* e *C. sapidus* não bioacumulam diversos elementos-traço presentes no ambiente (VIRGA e GERALDO, 2008; REICHMUTH *et al.*, 2010). Para *Aegla sp.*, o processo de depuração é eficiente apenas para os elementos-traço essenciais; já os não essenciais, como o Cd, por exemplo, tendem a ser bioacumulados, provavelmente devido à eficiência fisiológica para os elementos essenciais ou à incapacidade em metabolizar esses elementos. Para *T. fluviatilis*, a bioacumulação de Al, Fe e Mn está diretamente correlacionada à disponibilidade desses elementos na água, havendo uma bioacumulação mais intensa em áreas antropizadas.

Além de agirem negativamente nas populações de caranguejo-uçá, os elementos-traço oferecem riscos à saúde humana, uma vez que o caranguejo é uma fonte de alimento em regiões costeiras e os seres humanos, como topo da cadeia trófica, tendem a bioacumular os elementos-traço em órgãos e tecidos (TEIXEIRA *et al.*, 2020).

Diversas patologias humanas são associadas à presença de elementos-traço, principalmente no sistema nervoso, rins, fígado e sistema endócrino (PAULA, 2006; PAVANELLO *et al.*, 2017; TEIXEIRA *et al.*, 2020). Todavia, a complexidade do sistema imune dos seres humanos dificulta a observação direta da relação causa/efeito dos elementos-traço, pois o efeito tóxico causado pelos elementos-traço pode também ser provocado por outras substâncias, ou por interações entre esses agentes químicos, este processo é denominado como potencial contributivo (FU, 2008).

Uma das tentativas diretas de eliminar a contaminação humana por elementos-traço pela alimentação é o estabelecimento de limites recomendados pelas agências reguladoras nacionais e internacionais (PAVANELLO *et al.*, 2017). Entretanto, ainda são escassos os estudos que quantificam a quantidade de ingestão da carne de caranguejo e sua relação com o risco à saúde humana. Ressalta-se que esta relação é difícil de ser estudada, uma vez que pode ser ingerida a carne das patas, mas também os órgãos internos

do caranguejo. Além disso, é interessante destacar que a permissão para a captura do animal no estado do Paraná fica restrita ao período entre os meses de dezembro a março.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os tecidos de *U. cordatus* demonstraram ser excelentes bioindicadores da presença de elementos-traço. Dentre os tecidos, o hepatopâncreas apresentou as maiores concentrações dos elementos Hg, Se e Mg, enquanto as brânquias concentraram um maior valor de Cu, e a musculatura de Ca e Zn. Além disso, concluiu-se que as elevadas concentrações dos elementos-traço interferem negativamente no tamanho corpóreo dos caranguejos, e sua associação com o índice de condição alométrico reforça a afirmação.

Não houve diferença entre as concentrações dos dez elementos entre as áreas, com exceção do cálcio e selênio, sugerindo que a contaminação no CEP é homogênea, provavelmente devido aos intrínsecos processos hídricos do local.

Seis dos sete elementos com LMT definidos estão acima do permitido, sendo eles: Pb, Hg, Cu, Cr, Se e Zn.

O fato de esses elementos estarem acima do Limite Máximo Tolerável (LMT) sugere a necessidade de estudos sobre a quantidade segura de ingestão da carne de caranguejo. Isso deve ser feito levando em consideração a alimentação de um único tecido ou de múltiplos tecidos, considerando as questões legislativas e culturais que regem os períodos e as formas de consumo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHAM, M. R.; SUSAN, T. B. Water contamination with heavy metals and trace elements from Kilembe copper mine and tailing sites in Western Uganda; implications for domestic water quality. **Chemosphere**, v. 169, p. 281–287, 2017.
- AHEARN, G. A.; MANDAL, P. K.; MANDAL, A. Calcium regulation in crustaceans during the molt cycle: A review and update. **Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology**, v. 137, n. 2, p. 247–257, 2004.
- ALCORLO, P. et al. The use of the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*, Girard) as indicator of the bioavailability of heavy metals in environmental monitoring in the River Guadiamar (SW, Spain). **Science of the Total Environment**, v. 366, n. 1, p. 380–390, 2006.
- ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. ed. 1, p. 1-399, 1990.

- AMIARD, J.-C. et al. Metallothioneins in aquatic invertebrates: their role in metal detoxification and their use as biomarkers. **Aquatic Toxicology**, v. 76, p. 160–202, 2006.
- ANASTASIA, J. R.; MORGAN, S. G.; FISHER, N. S. Tagging crustacean larvae: Assimilation and retention of trace elements. **Limnology and Oceanography**, v. 43, n. 2, p. 362–368, 1998.
- ANUAL, Z. F. et al. Mercury and risk assessment from consumption of crustaceans, cephalopods and fish from West Peninsular Malaysia. **Microchemical Journal**, v. 140, n. 2017, p. 214–221, 2018.
- ARAÚJO, M. S. L. C.; CALADO, T. C. S. Bioecologia do caranguejo-uçá *Ucides cordatus* (Linnaeus) no complexo estuarino lagunar Mundáu/Manguaba (CELMM), Alagoas, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**. v. 8, n. 2, p. 169-181, 2008.
- ARAÚJO, M. S. L. C.; CASTIGLIONI, D. S.; COELHO, P. A. Width-weight relationship and condition factor of *Ucides cordatus* (Crustacea, Decapoda, Ucididae) at tropical mangroves of Northeast Brazil. **Iheringia, Série Zoologia**, v. 102, n. 3, p. 277–284, 2012.
- ARIAS, A. R. L. et al. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 12, n. 1, p. 61–72, 2007.
- AZEVÊDO, D. V. D. **Estrutura populacional de *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) em um manguezal hipersalino no semiárido do nordeste brasileiro**. Dissertação - Universidade Federal Rural do Semiárido, 66p., 2017.
- BERGEY, L. L.; WEIS, J. S. Molting as a mechanism of depuration of metals in the fiddler crab, *Uca pugnax*. **Marine Environmental Research**, v. 64, n. 5, p. 556–562, 2007.
- BIANCHESSI, C. **Sistemas naturais antropizados: desafios à conservação da biodiversidade**. Editora BAGAI, 155p., 2022.
- BORDON, I. C. et al. Implications on the Pb bioaccumulation and metallothionein levels due to dietary and waterborne exposures: the *Callinectes danae* case. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 162, n. 1, p. 415–422, 2018.
- BRITTO, F. B. et al. Population connectivity and larval dispersal of the exploited mangrove crab *Ucides cordatus* along the Brazilian coast. **PeerJ**, v. 1, n. 1, p. 1-20, 2018.
- CARNEIRO, L. M. **Determinação de elementos traço em *Goniopsis cruentata* (Latreille, 1803): subsídio para avaliação ambiental dos manguezais do rio Una**,

**Pardo e Jequitinhonha - sul da Bahia, Brasil.** Monografia - Universidade Federal da Bahia, 64p., 2016.

CASTILHO-WESTPHAL, G. G. et al. Estado da arte das pesquisas com o caranguejo-uçá, *Ucides cordatus*. **Archives of Veterinary Science**, v. 13, n. 2, p. 151–166, 2008.

CHAGAS, G. C. **Avaliação do potencial bioindicador de *Trichodactylus fluviatilis* (Latreille, 1828) (crustacea: decapoda: trichodactylidae) na bacia do rio Corumbataí (S/P).** Dissertação – Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, 61p., 2008.

CHRISTENSEN, G. M.; TUCKER, J. H. Effects of selected water toxicants on the in vitro activity of fish carbonic anhydrase. **Chemico-Biological Interactions**, v. 13, n. 2, p. 181–192, 1976.

ÇOĞUN, H. Y. et al. Heavy metals in the blue Crab (*Callinectes sapidus*) in Mersin Bay, Turkey. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 98, n. 6, p. 824–829, 2017.

CORRÊA JUNIOR, J. D. et al. Zinc in phosphate granules of *Ucides cordatus* hepatopancreas. **Braz J Med Biol Res**, v. 33, n. 2, 2000.

CRUZ, M. S. DA et al. Socio economic profile and environmental perception of uça crab hunters in the municipality of São Caetano de Odivelas, Pará, Brazil. **Nucleus Animalium**, v. 10, n. 2, p. 87–96, 2018.

DALABONA, G. et al. Size at Morphological Maturity of *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Brachyura, Ocypodidae) in the Laranjeiras Bay, Southern Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 48, n. 1, p. 139–145, 2005.

DUARTE, L. F. DE A. et al. Lead toxicity on a sentinel species subpopulation inhabiting mangroves with different status conservation. **Chemosphere**, v. 251, 2020.

DUARTE, L. F. DE A. et al. Multi-level biological responses in *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Brachyura, Ucididae) as indicators of conservation status in mangrove areas from the western atlantic. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 133, p. 176–187, 2016.

DURSUN, A. Y. A comparative study on determination of the equilibrium, kinetic and thermodynamic parameters of biosorption of copper (II) and lead (II) ions onto pretreated *Aspergillus niger*. **Biochemical Engineering Journal**, v. 28, n. 2, p. 187–195, 2006.

FINGERMAN, M. et al. Impact of heavy metal exposure on the nervous system and endocrine-mediated processes in crustaceans. **Zoological Studies**, v. 35, n. 1, p. 1–8, 1996.

- FREDERICH, M.; SARTORIS, F. J.; PORTNER, H.-O. Distribution patterns of decapod crustaceans in polar areas: A result of magnesium regulation? **Polar Biology**, v. 24, n. 10, p. 719–723, 2001.
- FREIRE, C. A.; ONKEN, H.; MCNAMARA, J. C. A structure-function analysis of ion transport in crustacean gills and excretory organs. **Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology**, v. 151, n. 3, p. 272–304, 2008.
- FROESE, R. Cube law, condition factor and weight-length relationships: History, meta-analysis and recommendations. **Journal of Applied Ichthyology**. v. 22, n. 1, p. 241-253, 2006.
- FU, J. et al. High levels of heavy metals in rice (*Oryza sativa* L.) from a typical E-waste recycling area in southeast China and its potential risk to human health. **Chemosphere**, v. 71, n. 7, p. 1269–1275, 2008.
- GONÇALVES, G. A. R. et al. Monitoramento do Caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) no Lagamar Paranaense. **Biodiversidade Brasileira**, v. 12, n. 1, p. 143–158, 2022.
- GWIAZDA, R.; LUCCHINI, R.; SMITH, D. Adequacy and consistency of animal studies to evaluate the neurotoxicity of chronic low-level manganese exposure in humans. **Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A: Current Issues**, v. 70, n. 7, p. 594–605, 2007.
- HARRIS, R. R.; SANTOS, M. C. F. Heavy metal contamination and physiological variability in the Brazilian mangrove crabs *Ucides cordatus* and *Callinectes danae* (Crustacea: Decapoda). **Marine Biology**, v. 137, p. 691–703, 2000.
- HAWKINS, S. J.; HARTNOLL, R. G. Settlement patterns of *Semzbalanus balanozdes* (L.) in the isle of Man (1977-1981). **Mar. Biol. Ecol.**, v. 62, n. 1, p. 271-283, 1982.
- JAISSWAL, A.; VERMA, A.; JAISSWAL, P. Detrimental Effects of Heavy Metals in Soil, Plants, and Aquatic Ecosystems and in Humans. **Journal of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology**, v. 37, n. 3, p. 183–197, 2018.
- JESUS, W. B. et al. Enzymatic and histological biomarkers in *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea, Brachyura, Ucididae) gills indicative of environmental impacts in a port region of northeastern Brazil. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 72, n. 4, p. 1413–1423, 2020.
- JITAR, O. et al. Bioaccumulation of heavy metals in marine organisms from the Romanian sector of the Black Sea. **New Biotechnology**, v. 32, n. 3, p. 369–378, 2015.
- JIVOFF, P.; HINES, A. H. Female behaviour, sexual competition and mate guarding in the blue crab, *Callinectes sapidus*. **Anim. Behav.**, v. 55, p. 589-603, 1998.

- KETELES, K. A.; FLEEGER, J. W. The contribution of ecdysis to the fate of copper, zinc and cadmium in grass shrimp, *Palaemonetes pugio* holthius. **Marine Pollution Bulletin**, v. 42, n. 12, p. 1397–1402, 2001.
- KINOSHITA, K. Burrow structure of the mud shrimp *Upogebia major* (Decapoda: Thalassinidea: Upogebiidae). **Journal of Crustacean Biology**, v. 22, n. 2, p. 474–480, 2002.
- LI, Y. et al. Effects of manganese on routine semen quality parameters: results from a population-based study in China. **BMC Public Health**, v. 12, n. 919, p. 1–8, 2012.
- LIMA, F. A. et al. Larval dispersal of Brachyura in one of the largest estuarine/marine systems in the world. **PLoS ONE**, v. 17, n. 8 August, 2022.
- LIMA, T. M. J.; TOGNELLA, M. M. P. Estrutura e função dos manguezais: revisão conceitual. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 1801–1827, 2012.
- LOPES, R. B.; LIMA, R. F. S. **Metais pesados no caranguejo *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) e ecotoxicologia de sedimentos do estuário dos Rios Jundiá e Potengi – RN**. Dissertação - Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, 87p., 2012.
- LU, F. C.; KACEW, S. **Lu' s Basic Toxicology. Fundamentals, Target Organs, and Risk Assessment**. 6. ed. Informa healthcare, 416p., 2013.
- LUQUET, G. Biomineralizations: Insights and prospects from crustaceans. **ZooKeys**, v. 176, n. 1, p. 103–121, 2012.
- LUSHCHAK, V. I. Contaminant-induced oxidative stress in fish: a mechanistic approach. **Fish Physiology and Biochemistry**, V. 42, n. 1, p. 711-747, 2016.
- MAIER, H. L. **Regulação da proteína HSP70 em *Ucides cordatus* (Crustacea: Decapoda: Brachyura) de áreas contaminadas por metais-traço**. Dissertação – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 43p., 2016.
- MARSDEN, I. D.; RAINBOW, P. S. Does the accumulation of trace metals in crustaceans affect their ecology – The amphipod example? **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 300, n. 1–2, p. 373–408, 2004.
- MELO, G.A.S. 1996. **Manual de Identificação dos Brachyura (caranguejos e siris) do litoral brasileiro**. São Paulo, Ed. Plêiade/FAPESP, 604p.
- MOHAPATRA, A. et al. Trace element-based food value evaluation in soft and hard shelled mud crabs. **Food and Chemical Toxicology**, v. 47, p. 2730–2734, 2009.

- NAKAGAKI, J. M.; PINHEIRO, M. A. A. Biologia populacional de *Emerita brasiliensis* Schmitt (Crustacea, Hippidae) na Praia Vermelha do Norte, Ubatuba (São Paulo, Brasil). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 16, n. 2, p. 83–90, 1999.
- NAUEN, C. E. Compilation of Legal Limits for Hazardous Substances in Fish and Fishery Products. **Library**, 108 p., 1983.
- NEGRO, C. L. Histopathological effects of endosulfan to hepatopancreas, gills and ovary of the freshwater crab *Zilchiopsis collastinensis* (Decapoda: Trichodactylidae). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 113, p. 87–94, 2015.
- NEHEMIA, A.; KOCHZIUS, M. Reduced genetic diversity and alteration of gene flow in a fiddler crab due to mangrove degradation. **PloS ONE**, v. 12, n. 8, 2017.
- NEUFELD, D. S.; CAMERON, J. N. Transepithelial movement of calcium in crustaceans. **The Journal of Experimental Biology**, v. 184, p. 1–16, 1993.
- NUDI, A. H. et al. Validation of *Ucides cordatus* as a bioindicator of oil contamination and bioavailability in mangroves by evaluating sediment and crab PAH records. **Environment International**, v. 33, n. 3, p. 315–327, 2007.
- OLIVEIRA-NETO, J. F. et al. Population genetics and evolutionary demography of *Ucides cordatus* (Decapoda: Ocypodidae). **Marine Ecology**, v. 28, n. 4, p. 460–469, 2007.
- ORTEGA, P. et al. Characterization of cadmium transport in hepatopancreatic cells of a mangrove crab *Ucides cordatus*: the role of calcium. **Aquatic Toxicology**, v. 188, n. 1, p. 92–99, 2017a.
- ORTEGA, P. et al. Physiological differences in the crab *Ucides cordatus* from two populations inhabiting mangroves with different levels of cadmium contamination. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 36, n. 2, p. 361–371, 2017b.
- ORTEGA, P.; CUSTÓDIO, M. R.; ZANOTTO, F. P. Characterization of Cadmium Plasma Membrane Transport in Gills of a Mangrove Crab *Ucides cordatus*. **Aquatic Toxicology**, 2014.
- PANDEY, P. K. et al. Biosorptive removal of cadmium from contaminated groundwater and industrial effluents. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 10, p. 4420–4427, 2008.
- PAULA, M. DE. Inimigo invisível: metais pesados e a saúde humana. **Periódico Tchê Química**, v. 3, n. 6, p. 37–44, 2006.
- PAVANELLO, A. C. L. et al. Avaliação da bioacumulação de metais em tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Tópicos em Ciências e Tecnologia de Alimentos: Resultados de Pesquisas Acadêmicas – Vol. 3**. Editora Blucher, 2017.

- PEDROZA, L. DE F.; COZZOLINO, S. MARIA F. Composição centesimal e de minerais de mariscos crus e cozidos da cidade de Natal/RN. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 21, n. 2, p. 154–157, 2001.
- PIASSÃO, F. J. G. et al. Análise da bioacumulação de metais e biomarcadores de estresse oxidativo em crustáceos do gênero *Aegla* (Crustacea, Anomura). **Perspectiv, Erechim.**, v. 43, n. 161, p. 111–122, 2018.
- PIE, M. R. et al. The organization of the mitochondrial control region in 2 Brachyuran Crustaceans: *Ucides cordatus* (Ocypodidae) and *Cardisoma guanhumi* (Gecarcinidae). **Journal of Heredity**, v. 99, n. 4, p. 432–437, 2008.
- PINHEIRO, M. A. A. **Biologia do caranguejo uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea, Decapoda, Brachyura), no litoral sul do estado de São Paulo**. Relatório Científico: Projeto Uçá, 2004.
- PINHEIRO, M. A. A. et al. Accumulation of six metals in the mangrove crab *Ucides cordatus* (Crustacea: Ucididae) and its food source, the red mangrove *Rhizophora mangle* (Angiosperma: Rhizophoraceae). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 81, p. 114–121, 2012.
- PINHEIRO, M. A. A. et al. Habitat monitoring and genotoxicity in *Ucides cordatus* (Crustacea: Ucididae), as tools to manage a mangrove reserve in southeastern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 185, n. 10, p. 8273–8285, 2013.
- PINHEIRO, M. A. A.; FISCARELLI, A. G. Length-weight Relationship and Condition Factor of the Mangrove Crab *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea, Brachyura, Ucididae). **Arch. Biol. Technol.**, v. 52, n. 2, p. 397–406, 2009.
- PINHEIRO, M. A. A.; FISCARELLI, A. G. **Manual de apoio à fiscalização do caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*)**. 1. ed. 43p., 2001.
- PINHEIRO, M. A. A.; FRANZOZO, A. Sexual maturity of the speckled swimming crab *Arenaeus Cribrarius* (Lamarck, 1818) (Decapoda, Brachyura, Portunidae), in the Ubatuba littoral, São Paulo state, Brazil. **Crustaceana**, v. 71, n. 4, p. 434–452, 1998.
- PINHEIRO, M. A. A.; HATTORI, G. Y. Relative Growth of the Mangrove Crab *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea, Brachyura, Ocypodidae) at Iguape, São Paulo, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 49, p. 813–823, 2006.
- RAINBOW, P. S. Trace metal bioaccumulation: Models, metabolic availability and toxicity. **Environment International**, v. 33, n. 4, p. 576–582, 2007.
- RAMOS, M. A. V.; CASTRO, J. T.; BORGES, S. S. **Avaliação preliminar dos teores de metais traço em peixes e crustáceos provenientes da porção norte da baía de**

**Todos os Santos, Bahia, Brasil.** Dissertação - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 87p., 2012.

REICHMUTH, J. M.; WEIS, P.; WEIS, J. S. Bioaccumulation and depuration of metals in blue crabs (*Callinectes sapidus* Rathbun) from a contaminated and clean estuary. **Environmental Pollution**, v. 158, n. 2, p. 361–368, 2010.

ROCHA, E. C. B.; AZEVEDO, L. P. Avaliação da presença de metais pesados nas águas superficiais da Bacia do Córrego São Mateus, Juiz de Fora (MG), Brasil. **Revista Espinhaço**. v. 4, n. 2, p. 33-44, 2015.

SÁ, R. J. DA S. DE et al. Indicadores biológicos de qualidade da água e as mudanças climáticas. **Multidisciplinary Reviews**, v. 2, n. 1, p. 1-8, 2019.

SANDERS, M. J.; DU PREEZ, H. H.; VAN VUREN, J. H. J. The Freshwater River Crab, *Potamonautes warreni*, as a Bioaccumulative Indicator of Iron and Manganese Pollution in Two Aquatic Systems. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 41, p. 203–214, 1998.

SANTOS, A. B.; SILVA, W. L. “New Evaluation of Selenium: Mercury Ratios in Fish and Crabs from an Impacted Tropical Estuary, Southeastern Brazil”. **International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources**, v. 2, n. 3, p. 1–4, 2017.

SARWAR, N. et al. Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: Modifications and future perspectives. **Chemosphere**, v. 171, n. 1, p. 710-721, 2017.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. et al. A Conceptual Hierarchical framework for Marine Coastal Management and Conservation: a Janus-Like Approach. **Terms and Conditions Journal of Coastal Research SI**, v. 42, n. 1, p. 191–197, 2005.

SCHMIDT, A. J. et al. Relação entre abertura de galeria e comprimento de cefalotórax do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Custacea-Decapoda-Brachyura). **Boletim Técnico-Científico do CEPENE**, v. 16, n. 1, p. 51–58, 2008.

SCHMIDT, A. J.; BEMVENUTI, C. E.; DIELE, K. Sobre a definição da zona de apicum e a sua importância ecológica para populações de caranguejo-uçá, *Ucides cordatus*. **Boletim Técnico-Científico do CEPENE**, v. 19, n. 1, p. 9–25, 2013.

SEIXAS, T. G.; KEHRIG, H. A. O selênio no meio ambiente. **Oecol. Bras**, v. 11, n. 2, p. 264–276, 2007.

SFAKIANAKIS, D. G. et al. Effect of heavy metals on fish larvae deformities: A review. **Environmental Research**, v. 137, n. 1, p. 245-255, 2015.

- SILVA, B. M. DA S. E. et al. Bioaccumulation of trace elements in the crab *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) from the macrotidal mangrove coast region of the Brazilian Amazon. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 190, n. 4, 2018b.
- SILVA, B. M. DA S. E. et al. Biomonitoramento de elementos metálicos no caranguejo *Ucides cordatus* Linnaeus (1763), em manguezal amazônico (Curuçá/Brasil). **Interfaces em Química**, p. 23–33, 2018a.
- SOUZA, F. V. B. DE; PINHEIRO, M. A. A. Biology, trophic chain, and ethnobiological calendar of the mangrove crab, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Brachyura, Ocypodidae), according to the perception of catchers in Itanhaém, São Paulo, Brazil. **Nauplius**, v. 30, 2022.
- SUÁREZ-SERRANO, A. et al. *Procambarus clarkii* as a bioindicator of heavy metal pollution sources in the lower Ebro River and Delta. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 73, n. 3, p. 280–286, mar. 2010.
- TEIXEIRA, D. C. L. et al. Exposição a contaminantes ambientais inorgânicos e danos à saúde humana. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 4, p. 10353–10369, 2020.
- TREVIZANI, T. H. **Elementos-Traço Em *Cathorops Spixii* (Pisces, Ariidae) No Complexo Estuarino De Paranaguá**. Universidade Federal do Paraná, 75p., 2011.
- TREVIZANI, T. H. et al. Heavy metal concentrations in the benthic trophic web of Martel Inlet, Admiralty Bay (King George Island, Antarctica). **Marine Pollution Bulletin**, v. 130, n. 1, p. 198–205, 2018.
- TÜRKMEN, M.; CIMINLI, C. Determination of metals in fish and mussel species by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry. **Food Chemistry**, v. 103, n. 2, p. 670–675, 2007.
- VIEIRA, R. H. S. F. et al. *Vibrio* spp. AND *Salmonella* spp., PRESENCE AND SUSCEPTIBILITY IN CRABS *Ucides cordatus*. **Rev. Inst. Med. trop. S. Paulo**, v. 46, n. 4, p. 179–182, 2004.
- VIRGA, R. H. P.; GERALDO, L. P. Investigação dos teores de metais pesados em espécies de siris azuis do gênero *Callinectes* sp. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 4, p. 943–948, 2008.
- World Health Organization (WHO). Manganese. Em: **Air Quality Guidelines for Europe**. 2. ed. p. 154–156, 2000.
- WU, Y.; FALCONER, R. A.; STRUVE, J. Mathematical modelling of tidal currents in mangrove forests. **Environmental Modelling & Software**, v. 16, n. 1, p. 19-29, 2001.

WUNDERLICH, A. C.; PINHEIRO, M. A. A.; RODRIGUES, A. M. T. Biologia do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Crustacea: Decapoda:Brachyura), na baía da Babitonga, Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 25, n. 2, p. 188–198, 2008.

## CAPÍTULO 2 – HISTOPATOLOGIA DAS BRÂNQUIAS DE *UCIDES CORDATUS*.

### RESUMO

Os órgãos e tecidos de organismos aquáticos são constantemente utilizados para monitorar a integridade dos organismos frente a ações antrópicas que cada vez mais se intensificam, especialmente em regiões litorâneas. Entre os organismos aquáticos capazes de detectar de alguma forma a presença de poluentes e mudanças no ambiente, destacam-se os crustáceos, uma vez que seus tecidos são responsivos à presença de uma vasta gama de poluentes. Dentre os crustáceos de relevância econômica, um dos destaques é o caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*). Abundante em quase toda a costa brasileira e endêmico dos manguezais, o caranguejo-uçá é uma importante fonte de renda para os ribeirinhos, e sua carne constitui uma fonte de alimento. Tendo em vista sua importância e eficiência como bioindicador, o presente estudo utilizou os tecidos brânquias de *U. cordatus* para avaliar a saúde das populações de caranguejo do litoral do Paraná. O estudo foi realizado em quatro áreas de manguezais, sendo que três delas fazem parte de Unidades de Conservação (UC) e uma está localizada em área não protegida. Cada manguezal foi visitado sazonalmente (verão - inverno) nos anos de 2019 e 2020, totalizando quatro amostragens. Em cada amostragem, foram coletados seis caranguejos em cada manguezal. Por meio de dissecação, foram obtidas amostras das brânquias, que foram fixadas por imersão em Bouin por 24 horas e posteriormente conservadas em álcool 70%. A confecção das lâminas foi realizada por desidratação em concentrações crescentes de álcool, diafanização em xilol e inclusão em parafina. Os cortes histológicos de 5 µm foram fixados nas lâminas com cola de albumina e glicerina na proporção de 1:1. Posteriormente, os cortes foram corados com hematoxilina e eosina. As alterações morfológicas foram confrontadas com as concentrações de cálcio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, magnésio, manganês, mercúrio, selênio e zinco nas brânquias por meio de regressão logística binomial. No total, foram observadas quinze alterações morfológicas nas brânquias, sendo as mais frequentes o infiltrado hemocítico (IN.H), a presença de estruturas amarronzadas (E.M), o encurtamento lamelar (En.L) e a presença de granulomas (Gra). Além disso, não foi observado o predomínio de alterações nos diferentes manguezais. Foi observada correlação entre o aparecimento de algumas alterações com as concentrações de cromo, magnésio e zinco, porém, fortes indícios sugerem que os caranguejos do litoral do Paraná estão sofrendo processos infecciosos causados por patógenos não identificados, que, por conseguinte, são atenuados pelas elevadas concentrações de elementos-traço.

**Palavras-chave:** tecido braquial, caranguejo-uçá, histologia, litoral paranaense.

### INTRODUÇÃO

O caranguejo *U. cordatus* (Linnaeus, 1763) popularmente conhecido como caranguejo-uçá, é um crustáceo braquiúro semiterrestre endêmico dos manguezais, que vive na região de entremarés, onde escava galerias no sedimento do manguezal (KINOSHITA, 2002; SOUZA e PINHEIRO, 2022).

Assim como diversas outras espécies que habitam regiões costeiras, *U. cordatus* sofre com a intensificação das atividades antrópicas, pois o aporte contínuo de poluentes

nos ecossistemas aquáticos afeta os organismos, agindo diretamente em seus tecidos (JAN *et al.*, 2015).

Entre os crustáceos capazes de responder a pressões ambientais, o caranguejo-uçá se destaca principalmente pelo seu valor socioeconômico, além de sua abundância e distribuição pelo litoral brasileiro e elevada sensibilidade aos poluentes e às mudanças climáticas (PINHEIRO *et al.*, 2012, 2013; SCHMIDT; *et al.*, 2013; DUARTE *et al.*, 2016; CARVALHO-NETA *et al.*, 2019).

Estressores ambientais normalmente provindos de atividade antrópica são capazes de induzir respostas fisiológicas que consequentemente alteram a morfologia dos tecidos de *U. cordatus* (ORTEGA *et al.*, 2011; CARVALHO-NETA *et al.*, 2019; JESUS *et al.*, 2020). Além disso, a histologia dos tecidos dos caranguejos é uma excelente ferramenta para identificar e monitorar doenças, uma vez que mesmo em estágios iniciais, processos imunológicos são observados pela técnica (BOEGER *et al.*, 2007).

Estudos utilizando os tecidos dos crustáceos vêm sendo cada vez mais reconhecidos como um importante instrumento para a avaliação dos efeitos dos mais diversos poluentes sobre as populações de crustáceos (NEGRO, 2015; CARVALHO-NETA *et al.*, 2019; JESUS, *et al.*, 2020).

Dentre os tecidos, destacam-se as brânquias, pois estão em contato direto com a água. As brânquias, além das trocas gasosas, atuam na osmorregulação, em funções enzimáticas e na excreção de amônia, o que demonstra a importância da sua integridade para o desenvolvimento e a sobrevivência dos indivíduos (FREIRE *et al.* 2007; NEGRO, 2015).

A morfologia das brânquias de *U. cordatus* é composta por uma artéria hipobranquial central localizada no filamento principal, também denominado de lamela principal, de onde projetam-se as lamelas secundárias para ambos os lados. Nas lamelas é possível observar as células pilares e suas junções, que fornecem sustentação para a lamela, a presença de vasos aferentes e canais marginais responsáveis pelo transporte de substâncias e a presença de uma cutícula que reveste toda a lamela branquial (CASTILHO-WESTPHAL *et al.*, 2016).

A exposição crônica a poluentes sofrida pelas brânquias pode causar diversos malefícios para o organismo, sendo o principal o esgotamento das reservas bioquímico-enzimáticas, ocasionando o aparecimento de lesões nos tecidos e órgãos (CARVALHO-NETA *et al.* 2012).

As alterações morfológicas nas brânquias de *U. cordatus* fornecem informações sobre a toxicidade de produtos químicos presentes no ambiente, contribuindo para o diagnóstico e monitoramento das populações de caranguejos (JESUS *et al.*, 2020).

Apesar dos estudos morfológicos que avaliam as brânquias realizados no Brasil com o uso do caranguejo-uçá, o Estado do Paraná carece dessas informações. A maioria dos estudos existentes concentra-se na análise das alterações morfológicas externas dos caranguejos em áreas impactadas por atividades portuárias e relacionadas. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo utilizar o tecido branquial como um bioindicador da saúde das populações de caranguejos no litoral do Paraná, comparando áreas protegidas por legislação com áreas impactadas, por meio de um estudo de monitoramento ambiental realizado por este grupo de pesquisa.

## **METODOLOGIA**

### **Área de estudo**

O litoral paranaense é composto por dois estuários bem desenvolvidos: o estuário de Guaratuba e o estuário de Paranaguá. O Complexo estuário de Paranaguá (CEP) abrange duas grandes baías: a baía de Paranaguá, localizada no eixo Leste/Oeste, e a baía das Laranjeiras, situada no eixo Norte/Sul. O CEP abrange grandes área de terras úmidas como manguezais e marismas, além de estar inserido em uma das áreas mais preservadas da Mata Atlântica brasileira.

O estudo foi realizado em quatro áreas dentro do CEP, sendo que três correspondem às seguintes Unidades de Conservação (UC): ESEC de Guaraqueçaba (25.511441° S, 48.494182° W), PARNA Superagui (25.308863° S, 48.170149° W) e RPPN Papagaio da Cara Roxa (25.515578° S, 48.509732° W). A quarta área situa-se fora de UC e localiza-se em uma área adjacente ao porto de Paranaguá, PGUA (25.511408° S, 48.494045° W).

Essas áreas apresentam diferentes graus de antropização, com o PARNA sendo a área mais distante dos centros urbanos e com acesso dificultado em comparação com as demais. A ESEC está próxima ao município de Guaraqueçaba, enquanto a RPPN está próxima das comunidades pesqueiras da Ilha Rasa. O manguezal de Paranaguá (PGUA) está localizado ao lado do terminal de contêineres (TCP) do porto de Paranaguá e recebe o deságue do rio Itiberê, que, por sua vez, recebe o deságue do rio popularmente denominado "Rio do Chumbo", próximo ao ponto de amostragem.

Cada manguezal foi amostrado em quatro períodos amostrais, sendo visitados nos meses de março (C1) e junho (C2) de 2019 e nos meses de março (C3) e setembro (C4) de 2020.

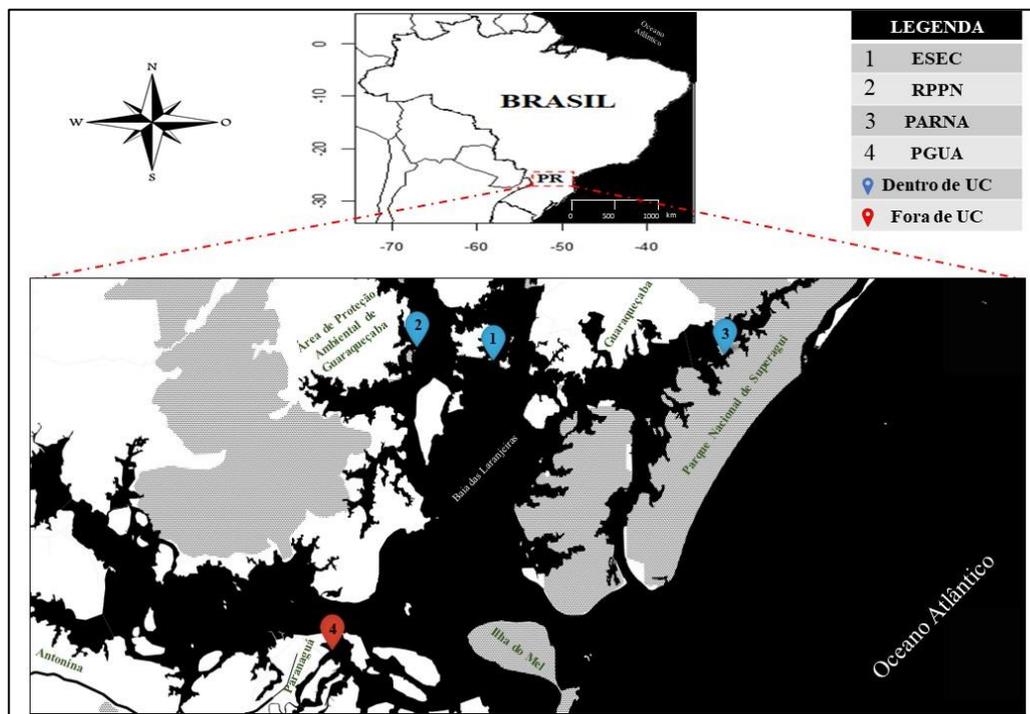


Figura 17. Localização dos quatro manguezais amostrados no CEP (Complexo Estuarino de Paranaguá): ESEC = Estação Ecológica de Guaraqueçaba, RPPN = Reserva Particular do Patrimônio Natural do Papagaio da Cara Roxa, PARNA = Parque Nacional do Superagui e PGUA = Área não protegida legalmente em Paranaguá, adjacente ao porto.

## Coleta

Em cada manguezal foram coletados aleatoriamente 10 caranguejos em C1 e C2 e 6 indivíduos em C3 e C4 pelo método do braceamento, por um catador profissional. A escolha das tocas para a captura se deu pela presença de atividade, como marcas de patas e fezes. Em laboratório os indivíduos foram sedados por resfriamento e por meio de dissecação foram retiradas amostras das brânquias fixadas por Bouin por 24 horas e conservadas em álcool 70%.

## Histologia

As brânquias dos caranguejos foram fixadas por imersão em Bouin durante um período de 24 horas e, posteriormente, conservadas em álcool a 70%. Este órgão foi submetido a um processo de desidratação em concentrações crescentes de álcool, com trocas a cada 30 minutos, e subsequente diafanização em xilol, sendo finalmente incluído em parafina. Os cortes histológicos, com uma espessura de 5  $\mu$ m, foram montados nas

lâminas utilizando uma mistura de cola de albumina e glicerina na proporção de 1:1. Em seguida, os cortes foram corados com hematoxilina e eosina, e as lâminas foram observadas sob um microscópio óptico.

### **Análise de dados**

As análises das lâminas ocorreram de modo a comparar a morfologia padrão dos tecidos de *U. cordatus*, descrita por Castilho-Westphal *et al.* (2016), com as observadas no presente estudo. Após análise, as alterações observadas foram fotografadas utilizando-se uma câmera acoplada ao microscópio óptico no software *EPview (EP 50)*. As pranchas histológicas foram confeccionadas utilizando o software *Adobe Photoshop*.

Para averiguar as correlações entre as alterações histológicas nos tecidos e as concentrações de elementos-traço foi utilizado o teste de Regressão Logística Binomial realizado no programa *Rstudio*.

As contrações dos elementos nos tecidos do caranguejo-uçá foram abordadas no capítulo um.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na análise de 128 animais, constatou-se que 81 deles manifestaram algum tipo de lesão nas brânquias (Tabela 6). Foi possível identificar integralmente todas as estruturas anatômicas fundamentais que compõem as brânquias. Além disso, foram observadas quinze alterações morfológicas distintas nos tecidos brânquiais, tanto nas lamelas quanto na artéria hipobranquial (Tabela 6).

Tabela 6. Quantidade de indivíduos de *Ucides cordatus* com uma alteração branquial e com duas ou mais alterações para os manguezais do complexo estuarino de Paranaguá.

Locais	n° alteração		n° individuo
	= 1	≥ 2	
ESEC	20	10	32
RPPN	20	13	32
PARNA	21	12	32
PGUA	20	11	32
Total	81	46	128

O presente estudo identificou diversas alterações nas amostras analisadas, as quais foram denominadas como: anomalia de crescimento (An.Cre), estruturas marrons (E.M), dilatação da artéria (D.Art), dilatação lamelar (D.L), encurtamento lamelar (En.L), estreitamento lamelar (Es.L), morfologia anormal (M.A), granuloma (Gra), hiperplasia

(Hip), infiltrado hemocítico (In.H (Cut = cutícula, G = generalizado)), ruptura das células pilares (R.cp), alteração no canal marginal (Alt.cmg) e alteração no epitélio (Alt.Ep). As lâminas que não apresentaram nenhuma alteração foram categorizadas como "sem alteração" (S.A).

As alterações mais frequentemente observadas incluíram o infiltrado hemocítico, a dilatação, o estreitamento e o encurtamento lamelar. Observou-se que a região do Parque Nacional apresentou o maior percentual de indivíduos com alterações branquiais, atingindo 65,6%. No entanto, os demais manguezais também exibiram percentuais significativos, atingindo 62,5%.

Durante o processo de confecção das lâminas, uma pequena porção apresentou dificuldades na conservação do tecido, resultando na incapacidade de identificar a morfologia padrão do tecido, sendo possível observar apenas fragmentos. No entanto, mesmo nessas condições, foi possível identificar uma ou mais das alterações previamente descritas. Nesse contexto, as lâminas afetadas por essa condição foram categorizadas como "análise comprometida" (A.C).

Adicionalmente, é importante salientar que, em algumas instâncias, ao refazer o processo de preparação das lâminas, obteve-se sucesso na análise em uma das tentativas. Essa observação sugere que as alterações branquiais, quando altamente expressivas, podem impactar negativamente a conservação das amostras durante o processamento histológico.

Tabela 7. Percentuais das alterações morfológicas encontradas nas brânquias de *Ucides cordatus* nos manguezais paranaenses.

Alteração /Locais	ESEC	RPPN	PARNA	PGUA
An.Cre	0,0	0,0	3,1	0,0
E.M	12,5	15,2	21,9	17,6
D.Art	3,1	0,0	3,1	2,9
D.L	25,0	21,2	21,9	11,8
En.L	15,6	27,3	21,9	11,8
Es.L	12,5	18,2	18,8	2,9
M.A	3,1	0,0	0,0	2,9
Gra	9,4	3,0	3,1	5,9
Hip	3,1	0,0	3,1	0,0
In.H	37,5	24,2	28,1	47,1
In.H.Cut	3,1	0,0	0,0	0,0
In.H.G	3,1	0,0	6,3	0,0
R.cp	3,1	3,0	0,0	0,0
Alt.Cmg	0,0	0,0	0,0	2,9

Alt.Ep	0,0	0,0	0,0	2,9
S.A	0,0	3,0	3,1	2,9
A.C	12,5	9,1	12,5	2,9

An.Cre = anomalia de crescimento, E.M = estruturas marrons, D.Art = dilatação da artéria, D.L = dilatação lamelar, En.L = encurtamento lamelar, Es.L = estreitamento lamelar, M.A = morfologia anormal, Gra = granuloma, Hip = hiperplasia, In.H = infiltrado hemocítico (Cut = cutícula, G = generalizado), R.cp = ruptura das células pilares, Alt.Cmg = alteração no canal marginal, Alt.Ep = alteração no epitélio, S.A = sem alteração, A.C = análise “comprometida”, ESEC = Estação Ecológica de Guaraqueçaba, RPPN = Reserva Particular do Patrimônio Natural do Papagaio da Cara Roxa, PARNA = Parque Nacional do Superagui e PGUA = Área não protegida em Paranaguá.

Dentre as alterações morfológicas encontradas, algumas se destacaram por sua maior frequência e observação nos caranguejos coletados de quatro manguezais distintos (Fig. 18). Entre essas modificações, o infiltrado hemocítico merece destaque especial. Este fenômeno é caracterizado pelo adensamento de células e pode ocorrer em uma ou mais lamelas branquiais. Além disso, o infiltrado hemocítico pode apresentar-se de forma pontual ou generalizada. Outra alteração notável envolve a presença de estruturas de tonalidades amarronzadas, frequentemente em formato oval e variando em tamanho. Essas alterações foram observadas exclusivamente na lamela principal e seus arredores.

Já as alterações mais frequentes nas lamelas secundárias foram a dilatação lamelar e o estreitamento lamelar, caracterizadas por alterações no comprimento e na largura das lamelas. Essas alterações sempre foram observadas em conjunto com a ruptura total das células pilares. A dilatação e o estreitamento lamelar devem ser respostas à ruptura das células pilares, uma vez que essas lamelas não apresentavam nenhuma das estruturas morfológicas padrões, como canais aferentes e eferentes e epitélio bem preservado. Em outras situações, foram observadas rupturas das células pilares; porém, sem modificações da morfologia das lamelas. Isso leva a crer que a ruptura parcial não promove a deformação das lamelas. Dessa forma, optou-se por distinguir entre essas duas alterações.

Na literatura, não foram encontrados indícios que correlacionem os elementos-traço com o infiltrado hemocítico e a presença das estruturas marrons no tecido branquial. Contudo, é relatado que algumas doenças infecciosas são capazes de produzir essas reações (PROVENZANO, 1983; NOGA *et al.*, 2000). A melanização, juntamente com a infiltração de hemócitos, são características comuns da infecção bacteriana por *Vibrio spp* em *Callinectes sapidus* (NOGA *et al.*, 2000).

Além disso, a literatura relata que, devido à ausência de imunoglobulinas nos artrópodes, a função de resposta imune é realizada pelos hemócitos, atuando contra infecções. Os hemócitos fagocitam as pequenas partículas e encapsulam as partículas grandes (JOHANSSON e SODERHALL, 1989).

Os encapsulamentos de corpos estranhos realizados pelos hemócitos normalmente são melanizados. A melanina é sintetizada pela enzima fenoloxidase, presente na hemolinfa, que age como um agente inativo pró-enzima e é ativada pela membrana celular microbiana (JOHANSSON e SODERHALL, 1989). Esse processo de encapsulamento e melanização é semelhante às estruturas marrons observadas no presente estudo. No entanto, são necessários estudos adicionais para compreender melhor a composição dessas estruturas e confirmar essa afirmação.

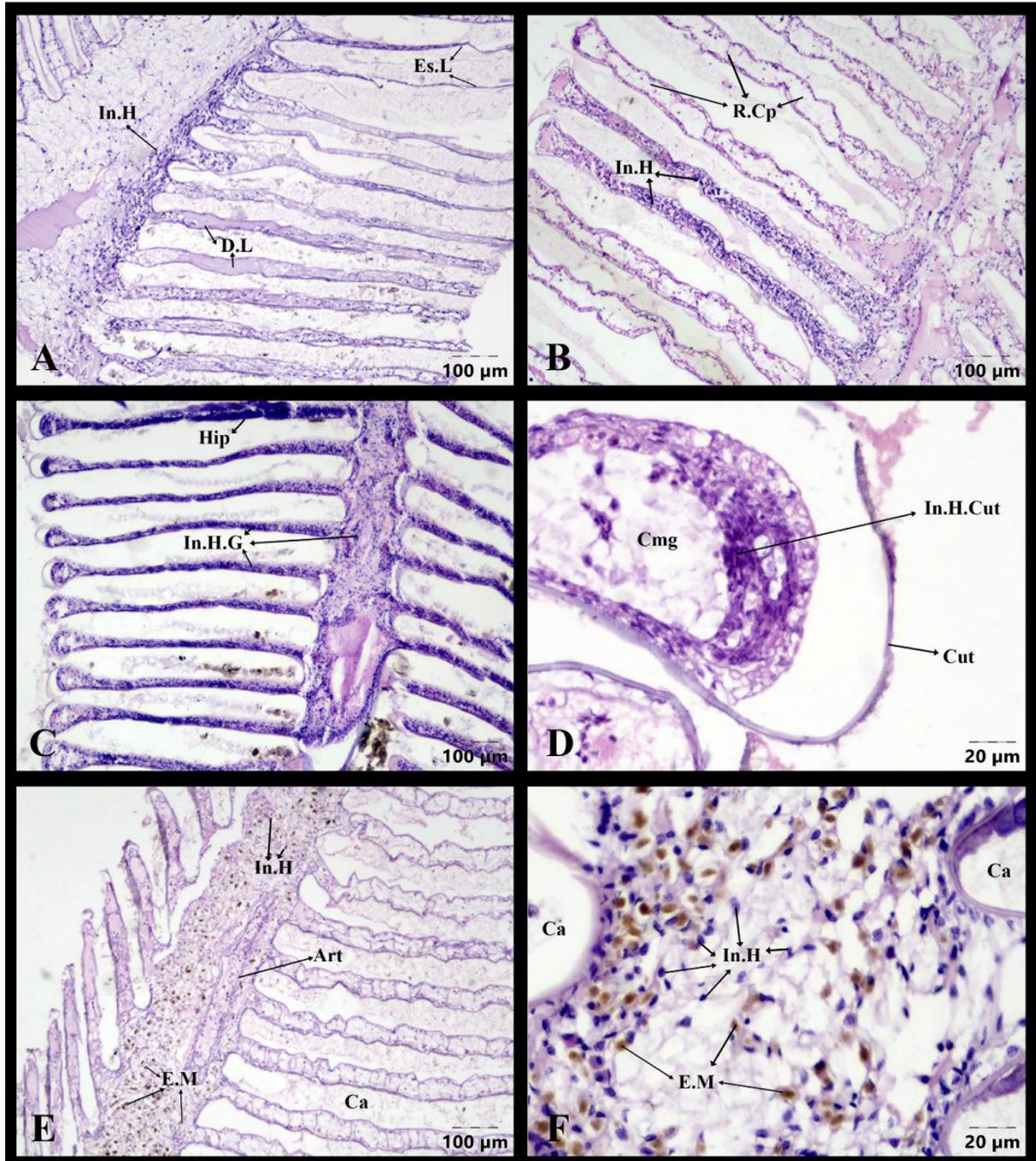
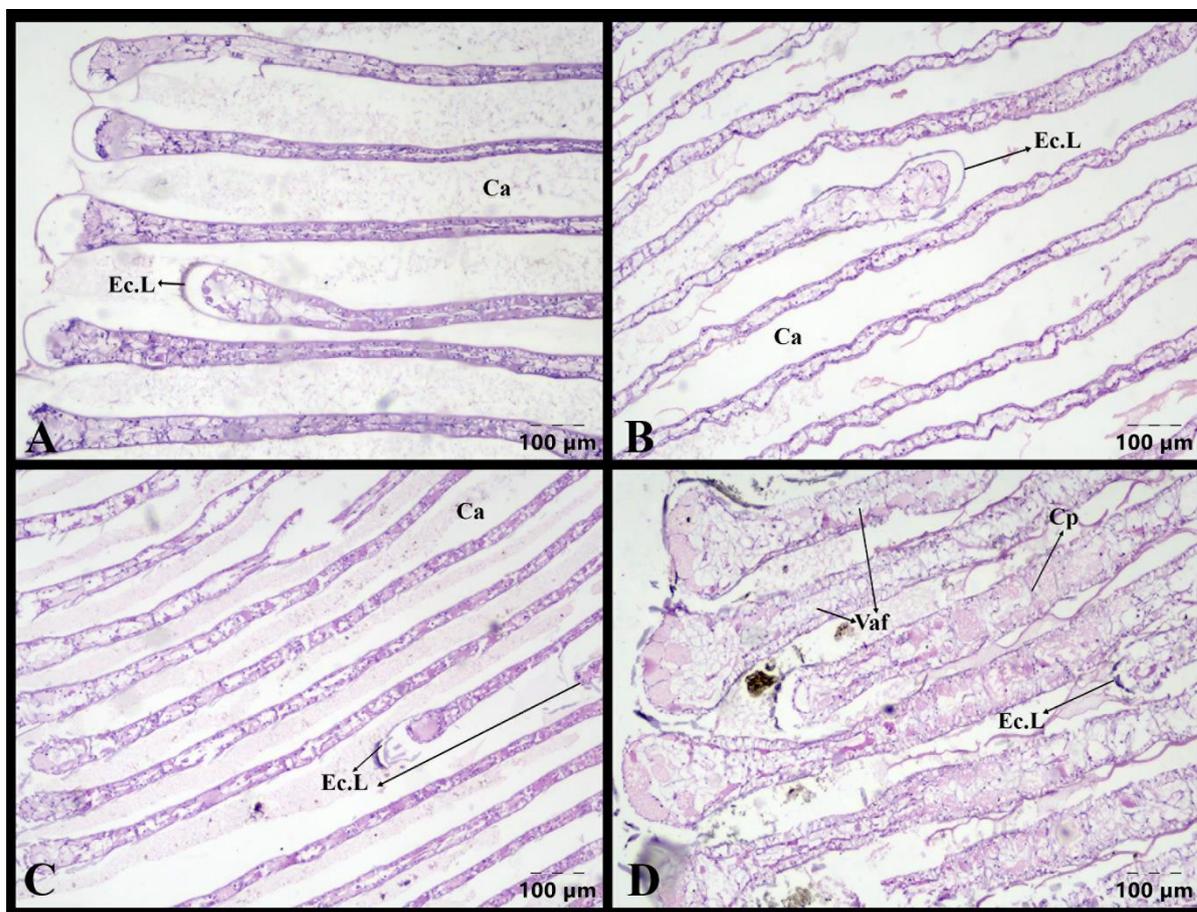


Figura 18. Prancha histológica de *Ucides cordatus* com a alteração com maior percentual de observação. In.H = infiltrado hemocítico (Cut = cutícula, G = generalizado), E.M = estruturas marrons, D.L = dilatação

lamelar, Es,L = estreitamento lamelar, Hip = hiperplasia, R.Cp = ruptura de células pilares, Art = artéria, Ca = canal de água.

O encurtamento lamelar foi observado em todos os caranguejos dos manguezais amostrados (Figura 19), exibindo percentuais próximos. Essa alteração caracteriza-se pelo comprimento reduzido de algumas lamelas em comparação às demais, confirmado pela observação da cutícula que reveste o epitélio acima do canal marginal.

Não há relatos de alterações similares ao encurtamento lamelar em crustáceos, como observado no presente estudo, e tampouco se conhece sua causa. No entanto, essa alteração já foi relatada em peixes. No caso da truta marrom (*Salmo trutta*), o encurtamento lamelar foi observado em juvenis da espécie expostos ao cromo (DEMIR *et al.*, 2016). Em *Sparus aurata*, a alteração é observada quando o peixe é infectado por *Sparicotyle chrysophrii* (BOBADILLA e PELLITERO, 2009). Alguns pesticidas também demonstram a capacidade de causar encurtamento lamelar em peixes, juntamente com outras alterações, como observado em *Salmo gairdneri* (PETERS *et al.*, 1984) e *Cirrhinus mrigala* (VELMURUGAN *et al.*, 2007). De fato, o processo de aparecimento



dessa alteração pode ser indicativo de necrose ou processos degenerativos avançados na ictiofauna (PETERS *et al.*, 1984).

Figura 19. Prancha histológica de *Ucides cordatus* com a alteração denominada de encurtamento lamelar (Ec.L). Es.L = estreitamento lamelar, Cp = células pilares, Ca = canal de água e Vaf = vasos aferentes.

Observou-se que uma alteração em particular ocorreu em todos os manguezais com baixos percentuais, os granulomas (Fig. 20). Foram observados granulomas na lamela principal e nas secundárias.

Como definição, um granuloma é um agregado focal de organização compacta de células imunes que se formam em resposta a um estímulo inflamatório persistente (WILLIAMS e FATIMA, 2020). A formação do granuloma ocorre em decorrência de processos inflamatórios causados por patógenos, principalmente fungos e bactérias (RIBEIRO, 2008).

Os granulomas formados em resposta à infecção fúngica em crustáceos são compostos, em sua grande maioria, por hemócitos livres que envolvem hifas curtas ou blastósporos melanizados. Entretanto, a ação fagocitária é rara. Além disso, a estrutura frouxa dos granulomas e a fraca melanização permitem que elementos fúngicos encapsulados escapem em estágios infecciosos posteriores, causando a morte do indivíduo infectado (VEY e FARGUES, 1977).

Outro agente estressor associado ao surgimento de granulomas são os parasitas, sendo que os crustáceos podem ser parasitados ou atuar como o parasita (BERRY *et al.*, 1991).

O surgimento de granulomas, assim como sua estruturação, varia conforme a fonte estressora, sendo as principais causas a presença de corpo estranho, granuloma necrosante ou não necrosante, supurativa e reação histiocítica difusa. A identificação histológica da inflamação granulomatosa é um fator importante para o pré-diagnóstico (SHAH *et al.*, 2017).

Foram observados granulomas nos tecidos branquiais (CANTANHÊDE *et al.*, 2014) e hepatopancreáticos de *U. cordatus* (RIBEIRO, 2008). O surgimento dos granulomas pode ter diferentes fontes. Contaminantes químicos que afetam as brânquias são associados ao aparecimento dos granulomas (CANTANHÊDE *et al.*, 2014). Além disso, ressalta-se que granulomas em *U. cordatus* foram associados a infecções por bactérias e fungos que desencadeiam o processo inflamatório (RIBEIRO, 2008).

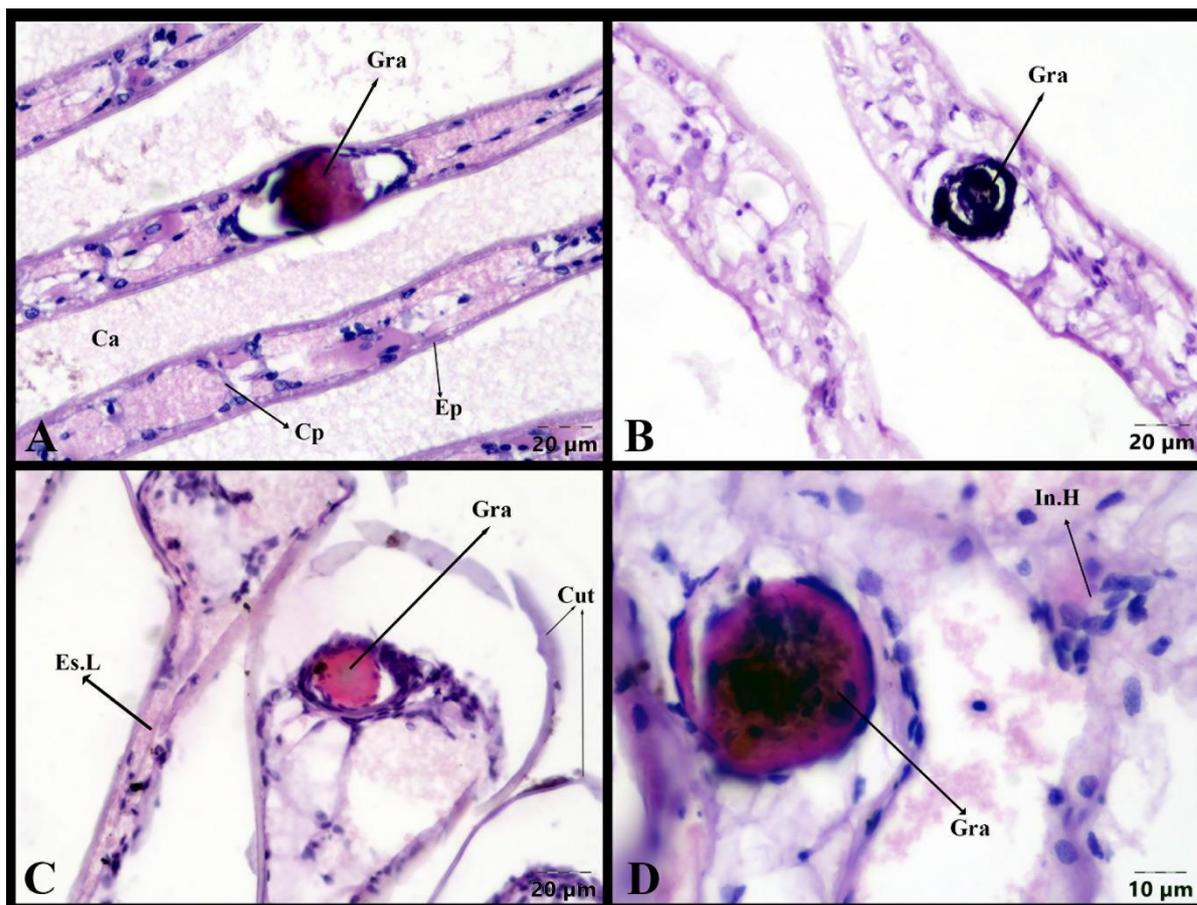


Figura 20. Prancha histológica de *Ucides cordatus* com a alteração denominada de granuloma (Gra) em diferentes regiões braquiais. Es.L = estreitamento lamelar, In.H = infiltrado hemocítico, Cut = cutícula, Ep = epitélio, Cp = células pilares, Ca = canal de água.

As demais variações morfológicas são indicadas como pontuais, ocorrendo em manguezais específicos e com percentuais baixos (Fig. 21). Dentre elas destacam-se a anomalia de crescimento, na qual é possível observar que o desenvolvimento das lamelas difere do comum, podendo estender seu comprimento, ou bifurcar uma lamela.

A alteração denominada com a morfologia anormal chama atenção, uma vez que um filamento da lamela secundária sofre uma irradiação seguida de uma inclinação.

Considerando a dinamicidade do ecossistema manguezal e suas intrínsecas relações, compreende-se que alterações morfológicas pontuais, ainda mais quando pouco frequentes, sejam associadas a estressores específicos dessas áreas e a fatores genéticos do indivíduo. Diversos são os fatores responsáveis por modificar a morfologia dos tecidos, sendo os patógenos, os contaminantes químicos e a disponibilidade de alimento as principais causas (SHIELDS, 2012; GIMENEZ *et al.*, 2016; CARVALHO-NETA *et al.*, 2019; JESUS *et al.*, 2020).

Frente às alterações pontuais observadas, apenas a hiperplasia e a ruptura de células pilares foram observadas em outros estudos. A hiperplasia é descrita como o aumento de tamanho de um órgão ou tecido, ocasionada pela multiplicação do número de células e aumento do volume tecidual, geralmente em decorrência de traumas mecânicos, sendo que esse crescimento anormal do número de células pode indicar uma inflamação (BOGLIOLO, 2011).

Estudos associam à hiperplasia principalmente à antropização dos ecossistemas, como a presença de concentrações elevadas de cádmio e intensas atividades portuárias (ISSARTEL *et al.*, 2010; BATISTA *et al.*, 2017). Considerada como a precursora da neoplasia, a hiperplasia crônica pode acarretar sérios problemas funcionais aos indivíduos, uma vez que essa alteração modifica a morfologia branquial, formando uma lamela globular e reduzindo o espaço interlamelar (NEGRO, 2015).

Caranguejos-uçás de regiões portuárias apresentaram uma maior incidência de hiperplasia branquial do que os caranguejos de manguezais mais afastados do porto (JESUS *et al.*, 2020), discordando com os resultados encontrados no atual estudo, uma vez que essa alteração não foi mais expressiva no manguezal de Paranaguá. Alguns moluscos também apresentaram hiperplasia em tecidos infectados por retrovírus (ROJAS *et al.*, 1999). Ressalta-se que a hiperplasia no caranguejo semiterrestre *Zilchiopsis collastinensis* é um mecanismo de defesa quando o organismo é exposto a pesticidas. A hiperplasia, juntamente com o aumento da quantidade de células B, atuam na atenuação dos efeitos nocivos do pesticida (NEGRO, 2015).

Pesticidas são substâncias químicas mais associadas às alterações morfológicas dos tecidos, sendo a hiperplasia e as alterações no diâmetro das lamelas as mais observadas. Isso ocorre provavelmente porque os pesticidas tendem a acumular nos tecidos brânquias (CARVALHO NETA *et al.*, 2019;) e principalmente nos hepatopâncreas (CHANG *et al.*, 2019).

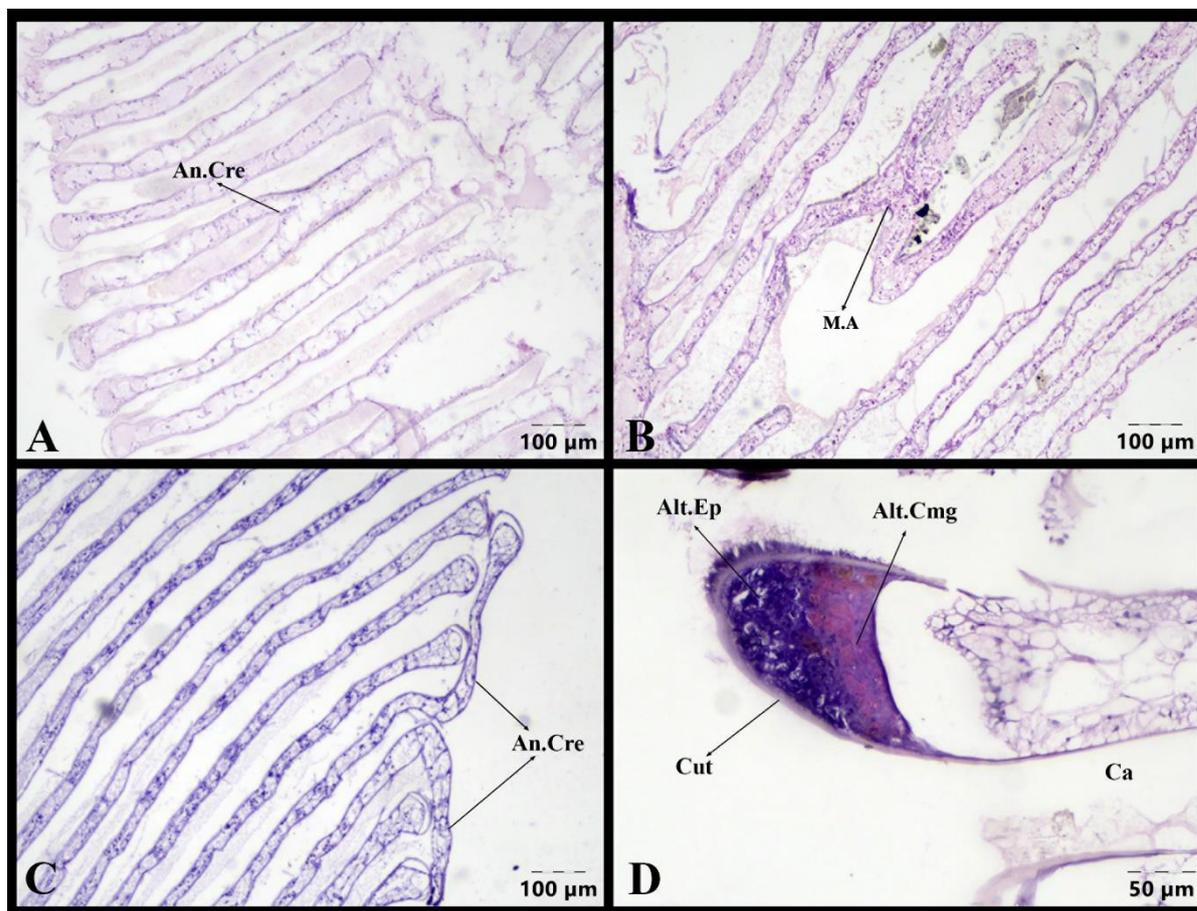


Figura 21. Prancha histológica de *Ucides cordatus* com as alterações pontuais. An.Cre = anomalia de crescimento, M.A = morfologia anormal, Alt.Ep = alteração epitelial, Alt.Cmg = alteração no canal marginal, Cut = cutícula e Ca = canal de água.

Para a correlação das alterações morfológicas branquiais e as concentrações de elementos-traço foram observadas relações significativas das seguintes alterações: dilatação lamelar como os elementos Cr e Mg e o infiltrado hemocítico com o Zn, sugerindo que esses elementos provavelmente estão desencadeando processos inflamatórios nas lamelas branquiais resultando na locomoção e adensamento dos hemócitos. A não correlação das demais alterações morfológicas, sugerem um estressor não mensurado, possivelmente organismos infecciosos, tendo as elevadas concentrações dos elementos-traço como um facilitador da infecção.

Valores muito próximos da significância foram observados para as alterações de dilatação lamelar frente às concentrações de Cu e Se, infiltrado hemocítico e Cr, encurtamento lamelar e Ca e estreitamento lamelar e Cr, Mg e Se. Destaca-se que os elementos Cr e Se correlacionam-se com 2 alterações, sugerindo uma visão cautelosa sobre suas concentrações.

Tabela 8. Resultados da regressão logística binomial considerando as alterações histológicas branquiais de *U. cordatus* como variáveis respostas e as concentrações dos elementos químicos como variáveis predictoras.

Variável Resposta	Variável preditora	Valor de z	Valor de p	AIC
D.L	Cr	2,032	0,042	58,847
	Mg	2,594	0,010	
In.H	Zn	2,068	0,039	73,344
D.L	Cu	-1,867	0,062	58,847
	Se	-1,747	0,081	
In.H	Cr	-1,804	0,071	73,344
En.L	Ca	-1,723	0,085	62,652
Es.L	Cr	1,728	0,080	44,286
	Mg	1,923	0,055	
	Se	-1,738	0,082	

D.L = dilatação lamelar, In.H = infiltrado hemocítico, En.L = encurtamento lamelar, ES.L = estreitamento lamelar, Cr = cromo, Mg = magnésio, Zn = zinco, Cu = cobre, Se = selênio, Ca = cálcio. AIC = critério de informação de Akaike.

A relação direta das alterações morfológicas em *Ucides cordatus* com concentrações de metais não consta em relatos recentes na literatura. Alguns estudos utilizam tanto os tecidos branquiais quanto as dosagens de elementos-traço como bioindicadores; no entanto, não demonstram correlação entre as variáveis (CARVALHONETA *et al.*, 2019; JESUS *et al.*, 2020; JESUS *et al.*, 2021).

A correlação do Cr, Mg e Zn com as alterações demanda estudos específicos, como contaminação controlada em laboratório e estudos moleculares, a fim de melhor compreender os processos e reações envolvidas e verificar se outros fatores antrópicos ou biológicos participam dos processos.

O alto fluxo gênico que a espécie apresenta (OLIVEIRA-NETO *et al.*, 2007; PIE *et al.*, 2008; SCHMIDT *et al.*, 2008; BRITTO *et al.*, 2018) é um forte indicativo da razão pela qual a grande maioria das alterações histológicas foi observada em todos os manguezais. Isso provavelmente ocorre por meio da estratégia reprodutiva dos braquiúros, que exportam larvas.

Diversas espécies de caranguejos têm suas larvas exportadas até 200km em direção ao mar a partir de sua localização de desova (BRITTO *et al.*, 2018). *U. cordatus* é um caso peculiar, pois possui um ciclo sazonal no qual, em sincronia perfeita, as fêmeas desovam na maré vazante da noite, em luas novas ou cheias, causando uma intensa sincronização na migração rápida das larvas do estuário para o mar. No dia seguinte à desova, as larvas não são mais encontradas no estuário (LIMA *et al.*, 2022).

Apesar do intenso fluxo gênico, de modo geral observa-se uma homogeneidade populacional de *U. cordatus*, com isoladas diferenças entre alguns locais (BRITTO *et al.*, 2018). É importante ressaltar que impactos no fluxo gênico e na diversidade genética foram observados em locais altamente impactados, seja devido ao desmatamento dos manguezais ou à poluição. Essas diferenças acarretam mudanças nos padrões de dispersão e na estrutura populacional (NEHEMIA e KOCHZIUS, 2017). Além disso, fatores como extrativismo, seleção natural (principalmente frente a doenças como a letargia) e a antropização do ecossistema em geral interferem no fluxo gênico (BRITTO *et al.*, 2018).

Outro importante fator a ser considerado é como a colonização das larvas ocorre, uma vez que pouco se sabe sobre os padrões de colonização das larvas do caranguejo-uçá e a contribuição desproporcional de larvas de estuários maiores em comparação com os menores, o mesmo acontecendo para a contribuição de estuários mais antropizados (OLIVEIRA-NETO *et al.*, 2007).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Alterações morfológicas nas brânquias foram observadas em todos os manguezais. Dentre as alterações observadas destacam-se o infiltrado hemocítico, juntamente com a presença de estruturas amarronzadas, fortes indicativos de processos infecciosos possivelmente causadas em parte pelas altas concentrações de zinco no tecido branquial.

Os granulomas e o encurtamento lamelar também foram alterações frequentemente observadas em todos os manguezais.

A observação de diversas alterações nas brânquias e sua não correlação com a grande maioria das concentrações de elementos-traço sugerem a presença de um estressor não mensurado, provavelmente um patógeno infeccioso (bactéria, fungo ou vírus). Porém, as elevadas concentrações dos elementos-traço contribuem para a facilidade do patógeno, contudo, mais estudos são necessários para tal confirmação. Estudos genéticos são

também necessários para esclarecer se essas alterações são hereditárias e/ou consequências de mudanças no fluxo gênico derivados de causas antrópicas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, W. S. et al. **Alterações em brânquias de *Ucides cordatus* (Decapoda, Ocypodidae) como biomarcadores para monitoramento de áreas portuárias em São Luís (Maranhão).** 69º Reunião Anual da SBPC, 2017.

BERRY, C. R.; BABEY, G. J.; SHRADER, T. Effect of *Lernaea cyprinacea* (Crustacea: Copepoda) on stocked rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Journal of wildlife diseases**, v. 27, n. 2, p. 206–213, 1991.

BOBADILLA, A. S.; PELLITERO, P. A. Experimental transmission of *Sparicotyle chrysophrii* (Monogenea: Polyopisthocotylea) to gilthead seabream (*Sparus aurata*) and histopathology of the infection. **Folia Parasitologica**, v. 56, n. 2, p. 143–151, 2009.

BOEGER, W. A. et al. Histopathology of the mangrove land crab *Ucides cordatus* (Ocypodidae) affected by lethargic crab disease. **Diseases of Aquatic Organisms**, v. 78, n. 1, p. 73–81, 2007.

BOGLIOLO, L. **Bogliolo Patologia**. 8. ed., 1051p., 2011. ISBN 978-85-277-1762-5.

CANTANHÊDE, S. M. et al. Uso de biomarcador histopatológico em brânquias de *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1972) na avaliação da qualidade da água do Parque Ecológico Laguna da Jansen, São Luís-MA. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 66, n. 2, p. 593–601, 2014.

CARVALHO NETA, R. N. F. et al. Biochemical and morphological responses in *Ucides cordatus* (Crustacea, Decapoda) as indicators of contamination status in mangroves and port areas from northern Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 16, p. 15884–15893, 2019.

CARVALHO-NETA, R. N. F.; TORRES, A. R.; ABREU-SILVA, A. L. Biomarkers in catfish *Sciades herzbergii* (teleostei: ariidae) from polluted and non-polluted areas (São Marcos' Bay, Northeastern Brazil). **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 166, n. 5, p. 1314-1327, 2012.

CASTILHO-WESTPHAL, G. G.; OSTRENSKY, A.; YAMASHIRO, K. C. E.; GRAF, L. B. M.; BOEGER, W. A. **Atlas anatômico e histológico do caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*)**. Editora UFPR, 83p., 2016.

- CHANG, W.; XU, W.; CHENG, L. Treatment of laryngeal contact granuloma: Surgical therapy or conservative treatment. **ORL**, v. 81, n. 5–6, p. 348–353, 2019.
- DEMIR, Y.; ORUÇ, E.; TOPAL, A. Carbonic Anhydrase Activity Responses and Histopathological Changes in Gill and Liver Tissues after Acute Exposure to Chromium in Brown Trout Juveniles. **Hacettepe J. Biol. & Chem**, v. 44, n. 4, p. 515–523, 2016.
- DUARTE, L. F. DE A. et al. Multi-level biological responses in *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Brachyura, Ucididae) as indicators of conservation status in mangrove areas from the western atlantic. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 133, p. 176–187, 2016.
- FREIRE, C. A.; ONKEN, H.; MCNAMARA, J. C. A structure-function analysis of ion transport in crustacean gills and excretory organs. **Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology**, v. 151, n. 3, p. 272–304, 2008.
- GIMENEZ, A. et al. Liposoluble vitamins in Crustacean feed: Metabolic and Histological responses Indian. **Journal of Experimental Biology**. v. 54, n. 1, p. 297–308, 2016.
- GURNEY, R. H. et al. The effect of parasitism by Trypanorhynch Plerocercoids (Cestoda, trypanorhyncha) on the digestive enzyme activity of *Carcinus maenas* (Linnaeus, 1758) (Decapoda, Portunidae). **Crustaceana**, v. 6, n. 1, p. 663–675, 2006.
- ISSARTEL, J. et al. Cellular and molecular osmoregulatory responses to cadmium exposure in *Gammarus fossarum* (Crustacea, Amphipoda). **Chemosphere**, v. 81, n. 6, p. 701–710, 2010.
- JAN, A. T. et al. Heavy metals and human health: Mechanistic insight into toxicity and counter defense system of antioxidants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 16, n. 1, p. 29592–29630, 2015.
- JESUS, W. B. et al. Enzymatic and histological biomarkers in *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea, Brachyura, Ucididae) gills indicative of environmental impacts in a port region of northeastern Brazil. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia**, v. 72, n. 4, p. 1413–1423, 2020.
- JOHANSSON, M. W.; SODERHALL, K. Cellular immunity in crustaceans and the propPO system. **Parasitology Today**, v. 5, n. 6, p. 171–176, 1989.
- KINOSHITA, K. Burrow structure of the mud shrimp *Upogebia major* (Decapoda: Thalassinidea: Upogebiidae). **Journal of Crustacean Biology**, v. 22, n. 2, p. 474–480, 2002.

NEGRO, C. L. Histopathological effects of endosulfan to hepatopancreas, gills and ovary of the freshwater crab *Zilchiopsis collastinensis* (Decapoda: Trichodactylidae). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 113, p. 87-94, 2015.

NOGA, E. J.; SMOLOWITZ, R.; KHOO, L. H. Pathology of shell disease in the blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun, (Decapoda: Portunidae). **Journal of Fish Diseases**, v. 23, n. 1, p. 389-399, 2000.

ORTEGA, P., E Sá, M. G., CUSTÓDIO, M. R., ZANOTTO, F. P. Separation and viability of gill and hepatopancreatic cells of a mangrove crab *Ucides cordatus*. **In Vitro Cellular and Developmental Biology – Animal**, v. 47, n. 5, p. 346–349, 2011.

PETERS, G.; HOFFMANN, R.; KLINGER, H. Environment-induced gill disease of cultured rainbow trout (*Salmo gairdneri*). **Aquaculture**, v. 38, n. 1, p. 105-126, 1984.

PINHEIRO, M. A. A. et al. Accumulation of six metals in the mangrove crab *Ucides cordatus* (Crustacea: Ucididae) and its food source, the red mangrove *Rhizophora mangle* (Angiosperma: Rhizophoraceae). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 81, p. 114–121, 2012.

PINHEIRO, M. A. A. et al. Habitat monitoring and genotoxicity in *Ucides cordatus* (Crustacea: Ucididae), as tools to manage a mangrove reserve in southeastern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 185, n. 10, p. 8273–8285, 2013.

PROVENZANO, A. J. **The Biology of Crustacea**, v.6, Pathobiology, 209p., 1983.

RIBEIRO, R. O. **Doença do caranguejo letárgico: desvendando questões etiológicas, epidemiológicas e de saúde pública**. Dissertação - Universidade Federal do Paraná, 82p., 2008.

ROJAS, P. Z.; CAMPALANS, M. B.; GONZÁLEZ, M. A. Hemocytic neoplasia in the chilean oyster (*Tiostrea chilensis*) cultured in the south of Chile. New record. **Invest. Mar.**, v. 27, n. 1, p. 15–18, 1999.

SCHMIDT, A. J.; BEMVENUTI, C. E.; DIELE, K. Sobre a definição da zona de apicum e a sua importância ecológica para populações de caranguejo-uça, *Ucides cordatus*. **Boletim Técnico-Científico do CEPENE**, v. 19, n. 1, p. 9–25, 2013.

SHAH, K. K.; PRITT, B. S.; ALEXANDER, M. P. Histopathologic review of granulomatous inflammation. **Journal of Clinical Tuberculosis and Other Mycobacterial Diseases**, v. 7, n. 1, p. 1-12, 2017.

SHIELDS, J. D. The impact of pathogens on exploited populations of decapod crustaceans. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 110, n. 1, p. 211-224, 2012.

SOUZA, F. V. B. DE; PINHEIRO, M. A. A. Biology, trophic chain, and ethnobiological calendar of the mangrove crab, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Brachyura, Ocypodidae), according to the perception of catchers in Itanhaém, São Paulo, Brazil. **Nauplius**, v. 30, 2022.

VALENTE, C. S.; WAN, A. H. L. Vibrio and major commercially important vibriosis diseases in decapod crustaceans. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 181, n. 1, p. 1-18, 2021.

VELMURUGAN, B. et al. Histopathology of lambda-cyhalothrin on tissues (gill, kidney, liver and intestine) of *Cirrhinus mrigala*. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 24, n. 3, p. 286–291, 2007.

VEY, A.; FARGUES, J. Histological and Ultrastructural Studies of Beauveria bassiana Infection in *Leptinotarsa decemlineata* Larvae during Ecdysis. **Journal Of Invertebrate Pathology**, v. 30, n. 1, p. 207-215, 1977.

WILLIAMS O, FÁTIMA S. **Granuloma**. Em: PubMed, 2022, PMID: 32119473. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554586>.