



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE BRAGANÇA
INSTITUTO DE ESTUDOS COSTEIROS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE PESCA

DELIANE HILLARY DO AMARAL RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DO CARANGUEJO-UÇÁ, *Ucides cordatus*
(OCYPODIDAE) COMO POTENCIAL BIOINDICADOR
DE CONTAMINAÇÃO POR METAL NOS MANGUEZAIS
DA COSTA PARAENSE**

BRAGANÇA- PA

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE BRAGANÇA
INSTITUTO DE ESTUDOS COSTEIROS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE PESCA

DELIANE HILLARY DO AMARAL RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DO CARANGUEJO-UÇÁ, *Ucides cordatus*
(OCYPODIDAE) COMO POTENCIAL BIOINDICADOR
DE CONTAMINAÇÃO POR METAL NOS MANGUEZAIS
DA COSTA PARAENSE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Pará, Instituto de Estudos Costeiros, como requisito para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia de Pesca.

Orientador: Dr. Marcus Emanuel Barroncas Fernandes

Coorientadora: Dra. Ádria de Carvalho Freitas

BRAGANÇA- PA

2022

“Pensava que nós seguíamos caminhos já feitos, mas parece que não os há. O nosso ir faz o caminho.”

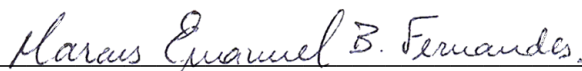
C.S Lewis

DELIANE HILLARY DO AMARAL RODRIGUES

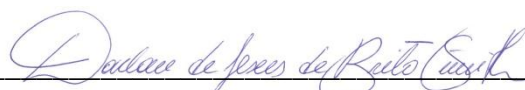
**AVALIAÇÃO DO CARANGUEJO-UÇÁ, *Ucides cordatus*
(OCYPODIDAE) COMO POTENCIAL BIOINDICADOR
DE CONTAMINAÇÃO POR METAL NOS MANGUEZAIS
DA COSTA PARAENSE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Pará, Instituto de Estudos Costeiros, como requisito para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia de Pesca.

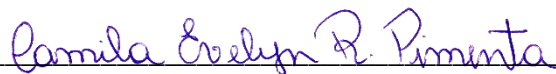
BANCA EXAMINADORA



Dr. Marcus E. B. Fernandes
Universidade Federal do Pará (Orientador)



Dr. Darlan J. B. Simith (Membro Titular)
Universidade Federal do Pará



Me. Camila E. R. Pimenta (Membro Titular)
Universidade de Debrecen, Hungria

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, autor e consumidor da minha fé e vida, pela qual sou infinitamente grata, pela força, sabedoria e coragem para não desanimar mesmo diante de situações tão infelizes. Se não fosse sua infinita graça, bondade e misericórdia, eu jamais teria conseguido.

Agradeço aos meus pais, Ailton Rodrigues e Maria Amaral, por todo amor, cuidado, e por serem tão presentes. Vocês foram e são meus alicerces, tudo sempre foi por vocês.

Aos meus familiares, em especial a minha avó, Neuza, que sempre se dispôs a me oferecer o melhor, principalmente seu colo. À minha irmã, Jéssica, por resolver os problemas mais aleatórios. E à minha filha, Ana Cecília, simplesmente por existir e consequentemente me dar forças para não desistir.

Aqueles que já não se encontram nesse plano terreno, mas foram essenciais na minha formação pessoal e profissional. Sendo esses, meu avô, Manoel Brasilino, um dos motivos por eu ter escolhido esse curso. Meu padrinho, Antônio (Curió), dispensa comentários, sempre terá todo meu amor e admiração. E ao querido Danilo Barroso, que “coincidentalmente” mudou minha vida, espero honrar pelo menos uma parte do excelente profissional que foi.

À minha turma, em especial ao meu seletivo grupo de amigos improváveis, Arlindo Pinheiro, Carlos Henrique, Jair Campelo, Lucas Henrique e Wesley Lima, vocês tornaram esses anos mais leves, amo vocês.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Marcus Emanuel Barroncas Fernandes e Dra. Ádria de Carvalho Freitas, por aceitarem esse desafio e por serem tão compreensivos. Os tenho como referências de excelentes profissionais.

À todos os amigos que fiz na cidade de Bragança ao longo desses anos. Aos professores, em especial ao Prof. Dr. Marcos Ferreira Brabo, por todas as aulas ministradas dentro e fora da sala de aula, e ao Prof. Dr. Francisco Carlos Alberto Fonteles Holanda, pelas melhores aulas práticas e a amizade construída. E todas as pessoas que passaram pela minha vida acadêmica e que contribuíram direta ou indiretamente para a minha formação.

Sumário

Capítulo 1.....	1
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1.1 Costa amazônica brasileira: características e atividades antropogênicas	1
1.2 O caranguejo-uçá	2
1.3 Metais pesados	2
1.4 Características dos metais.....	5
2. OBJETIVOS.....	6
2.1 Objetivo geral	6
2.2 Objetivos específicos.....	6
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	7
Capítulo 2	13
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. MATERIAIS E MÉTODOS	16
2.1 Área de estudo	16
2.2 Coleta de caranguejos e sedimentos e preparação das amostras	17
2.3 Análise morfológica do caranguejo uçá.....	18
2.4 Análise de concentração de metais.....	18
2.5 Análise comparativa da concentração de metais na musculatura e sedimento....	19
2.6 Fator de bioacumulação	20
2.7 Análise estatística	20
3. RESULTADOS	20
3.1 Área conservada vs. área antropizada	20
3.2 Fator de bioacumulação (FBA)	22
4. DISCUSSÃO.....	23
5. CONCLUSÃO	26
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
7. ANEXO	31

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1 COSTA AMAZÔNICA BRASILEIRA: CARACTERÍSTICAS E ATIVIDADES ANTROPOGÊNICAS

A costa amazônica brasileira estende-se da região norte, onde há uma zona costeira extensa e bem preservada (Kjerfve e Lacerda, 1993), até à porção nordeste do país (IBGE, 2018), apresentando grande importância socioambiental e econômica. Está localizada no limite da maior floresta tropical do mundo, com extensas paisagens representadas por sistemas estuarinos, dividida em dois setores: o setor ocidental - diretamente influenciado pela descarga sólida e líquida do rio Amazonas e o setor oriental - com a faixa contínua mais extensa de manguezais em nível mundial (Souza-Filho et al., 2009).

Nas últimas décadas, a intensificação das atividades antrópicas, tais como o desmatamento, incêndios, atividades agrícolas, mineração e a construção de barragens hidrelétricas levaram à deterioração dos recursos naturais da Amazônia brasileira (Brown et al., 2016; Solar et al., 2016; Mendes et al., 2017). Algumas dessas atividades antropogênicas favorecem a contaminação por metais e bioacumulação nos solos, podendo afetar negativamente a saúde da fauna e flora, prejudicando o equilíbrio do ecossistema (Pierzynski et al., 2015). Uma das regiões mais afetadas por essas atividades é a zona costeira, particularmente, as áreas de manguezal (Bodin et al., 2011).

Os manguezais são altamente produtivos e atuam como importantes fontes primárias (Souza, 2014; Ferreira, 2016), fornecendo vários recursos e serviços ecossistêmicos, local de reprodução e criação para inúmeras espécies animais e vegetais, bem como nutrientes para os ambientes aquáticos adjacentes (Oliveira, 2013; Hogarth, 2015).

Os manguezais que integram a bacia amazônica oferecem inúmeros serviços ecossistêmicos, além de serem responsáveis por abrigar uma alta diversidade biológica com espécies de grande importância ecológica e econômica, destacando-se, por exemplo, o caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea; Brachyura; Ocypodidae), um recurso intensamente explorado para subsistência e economia local (Vilhena et al., 2013; Monteiro et al., 2014).

1.2 O CARANGUEJO-UÇÁ

O caranguejo-uçá é um crustáceo semiterrestre de regiões tipicamente estuarinas com distribuição ao longo do norte da Flórida, Estados Unidos da América, até a costa de Santa Catarina, sul do Brasil (Wellens et al., 2015), sendo encontrado em altas densidades na costa amazônica brasileira (Nordi et al., 2009). Essa espécie é um componente importante da fauna bentônica e responsável por desempenhar importantes funções ecológicas no manguezal (Moraes et al., 2015; Abdullah et al., 2016), através das construções e manutenção de suas tocas, que proporcionam a oxigenação e drenagem do solo, além de promover a fragmentação das folhas caídas no mangue que resulta na degradação de matéria orgânica e na retenção de carbono e nutrientes (Rodrigues et al., 2000).

No Brasil, o caranguejo-uçá tem sido utilizado como importante bioindicador de contaminação por metais pesados (Pinheiro et al., 2012) por estar inteiramente relacionado ao substrato e possuir características importantes, que permitem o estudo da bioacumulação, tais como: hábito alimentar onívoro-detritívoro, com atuação em diferentes níveis da cadeia trófica (Ferreira et al., 2014); promoção da bioturbação no solo, com a incorporação de matéria orgânica do sedimento durante esse processo (Remaili et al., 2016); taxa lenta de crescimento; ciclo de vida longo (Pinheiro et al., 2005); e abundância e facilidade de captura em ambiente natural (Andrade et al., 2011).

Apesar da sua importância ecológica, o habitat de *U. cordatus* tem sido modificado em função da expansão populacional humana em direção à zona costeira e da exploração de produtos florestais (Ferreira et al., 2016). Conseqüentemente, a qualidade do ambiente tem sido ameaçada por componentes físicos e químicos (Borja et al., 2012), dentre eles a poluição por substâncias tóxicas e metais pesados que causam impacto negativo sobre os organismos que vivem nesse habitat (Harford et al., 2015).

1.3 METAIS PESADOS

O termo metal pesado não é facilmente definido, mas tem sido utilizado para se referir a metais ou metalóides com uma densidade específica ou superior a 5 g/cm^3 (Lapedes, 1974), e amplamente utilizado para designar os metais de transição, pois estes são de preocupação ambiental como contaminantes antropogênicos e potenciais tóxicos (Batley, 2012).

Os metais estão entre os poluentes conhecidos com maior grau de toxicidade e persistência, não destruídos por processos biológicos ou químicos (Wong et al., 2006). Eles têm atraído atenção em nível global devido ao seu grande impacto e risco potencial para a biota, além da sua facilidade acumulativa nos tecidos dos organismos (Al-Attar, 2011). Alguns metais vestigiais são essenciais em baixas concentrações para o metabolismo dos animais, mas em excesso todos são tóxicos (Duarte et al., 2017). Eles são Poluentes inorgânicos são nocivos em ambientes aquáticos quando as suas concentrações estão elevadas e ultrapassam o limite de tolerância, desencadeando a biomagnificação dos metais na teia trófica, podendo causar efeitos danosos aos organismos e, conseqüentemente, aos seres humanos, uma vez que estes dependem direta e/ou indiretamente destes recursos sob os mais variados aspectos (Pinheiro et al., 2012; Eça et al., 2013).

Os metais podem ser classificados como essenciais e não essenciais, dependendo das funções biológicas que desempenham, subdivididos da seguinte forma (Jakimska et al., 2011):

- Manganês (Mn), Ferro (Fe), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Zinco (Zn) e Molibdênio (Mo) - elementos essenciais para a fase de crescimento e ciclos de vida dos organismos, mas tóxicos quando a concentrações elevadas.
- Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg), e Cádmio (Cd) - tóxico mesmo em baixas concentrações.

As fontes de contaminação ambiental por metais podem ser i) naturais ou litogênicas, através dos processos de formação do solo e meteorização de rochas que transportam metais ou ii) antropogênicas, através de diversas atividades que incluem a mineração, deposição atmosférica de partículas de aerossol (< 30 µm de diâmetro), gotas de chuva contendo metais pesados ou formas gasosas de elementos, aplicações diretas de fertilizantes agrícolas, produtos agroquímicos e vários materiais orgânicos, incluindo lamas de esgoto, estrume, resíduos alimentares e adubos (Alloway, 2013; Ali et al., 2019).

A costa Amazônica possui diversos depósitos sedimentares que recebem constantemente grandes afluxos de materiais fluviais (Villar et al., 2018). Boa parte da deposição de metais ocorre através do transporte de sedimento pelos rios, sendo esse processo responsável pela contaminação do manguezal, já que este ecossistema encontra-se na transição entre os ambientes terrestre e marinho (Santos et al., 2018).

Quando os metais estão presentes em grande quantidade em um ambiente e biodisponíveis, os organismos ficam suscetíveis a acumulação destes elementos, para além do nível de tolerância adquirida ao longo do seu processo evolutivo (Saher et al., 2019), o que é observável no seu desenvolvimento corporal, uma vez que organismos presentes em áreas impactadas negativamente apresentam maior assimetria corporal devido ao gasto energético para controlar o estresse promovido pelo ambiente contaminado (Matheson et al., 2012; Lezcano et al., 2015).

Elevadas concentrações de metais pesados resultam em impacto negativo ao ambiente, afetando todos os níveis da teia trófica, a exemplo dos microrganismos que são essenciais para as "funções de apoio à vida", como os processos de decomposição que controlam o ciclo nutritivo dos elementos (Seid et al., 2011). A redução do número de microrganismos benéficos existentes no solo, promovida pela elevada concentração de metais, pode levar à diminuição da decomposição da matéria orgânica causando uma menor fertilidade do solo (Asati et al., 2011). A acumulação de metais pesados nas plantas, por sua vez, pode inibir alguns processos que ocorrem nos vegetais, como a fotossíntese, mitose e absorção de água, resultando em efeitos tóxicos que levam à deformidade de algumas estruturas físicas, baixas taxas de crescimento, reduzida absorção de nutrientes e perturbações metabólicas (Guala et al., 2010; Furini, 2012), além de destacar que as raízes são uma das principais vias de entrada de metais pesados na cadeia alimentar, pois a partir da absorção dos metais feita por estas, outros animais (a princípio herbívoros) são afetados pela bioacumulação (Asati et al., 2016).

Os metais pesados quando presentes em grande quantidade e acima do limite de tolerância dos organismos aquáticos podem induzir grave estresse oxidativo que, por sua vez, podem causar efeitos devastadores sobre o equilíbrio ecológico no ambiente, limitando a diversidade de organismos de maneira diretamente proporcional à contaminação (Singh et al., 2011).

Os organismos podem assimilar os metais através da absorção corpórea de poluentes, ou seja, por toda a superfície do seu corpo ou apenas por áreas específicas como as brânquias, porém a forma mais significativa ocorre através da ingestão, durante a alimentação (Ahearn et al., 2004; Kojadinovic et al., 2007). Assim, o contato constante com substâncias químicas pode trazer impacto negativo à biota, resultando em uma cascata de eventos que se inicia com efeitos celulares, químicos e biológicos, podendo com o decorrer do tempo colocar em risco populações e comunidades inteiras (Adams et al., 1989).

O estudo de elementos potencialmente tóxicos presentes em ecossistemas aquáticos ganhou atenção desde a década de 1980, quando agências ambientais ao redor do mundo começaram a desenvolver testes de toxicidade utilizando organismos desses ambientes (USEPA, 1996, 2002). A contaminação ambiental por produtos químicos passou então a ser medida através das suas concentrações em tecidos animais, por conta da facilidade que um poluente possui de se acumular nestas estruturas (Palaniappan & Karthikeyan, 2009; Pinheiro, 2012).

Os programas que abordam o monitoramento da qualidade da água e que empregam índices químicos e físicos têm sido alvo de muitas críticas pelos pesquisadores, sendo necessária a aplicação de metodologias biológicas, como a bioindicação e o biomonitoramento para se obter abordagens mais ecossistêmicas (César, 2003; Zagatto & Bertoletti, 2006). Atualmente, sabe-se que alguns grupos de organismos podem demonstrar de diversas maneiras as alterações do ambiente, não detectáveis por metodologias químicas e/ou físicas, como é o caso do caranguejo-uçá (Chagas, 2008). Esta espécie de caranguejo do manguezal é especialmente apropriada para a utilização em estudos de impacto ambiental devido as características apresentadas no tópico anterior (Jesus et al., 2003; Nudi et al., 2007).

1.4 CARACTERÍSTICAS DOS METAIS

O cádmio é um metal pesado de considerável preocupação ambiental e ocupacional e está amplamente distribuído na crosta terrestre com uma concentração média de cerca de 0,1 mg/kg. É frequentemente utilizado em várias atividades industriais incluindo a produção de ligas, pigmentos e baterias (Tchounwou et al., 2012). Para muitas espécies animais e vegetais, o cádmio apresenta toxicidade mesmo em doses mínimas, podendo causar deformidades ao esqueleto e induzir o estresse oxidativo (Sall et al., 2020).

O cromo é um elemento presente na crosta terrestre com estados de oxidação (ou estados de valência) que vão do cromo (II) ao cromo (VI), sendo a forma hexavalente [Cr (VI)] a principal liberada ao ambiente e classificada como um poluente industrial tóxico (Jacobs & Testa 2005). Nos animais, o cromo pode causar problemas respiratórios, enfraquecimento do sistema imunológico, defeitos genéticos, infertilidade ou a formação de tumores (Ahmad et al., 2012).

O cobre é um elemento essencial utilizado para processos metabólicos em humanos e animais, sendo necessário para a reticulação do tecido conjuntivo, bem como no metabolismo do ferro e dos lípidos, muito embora induza toxicidade em altas

concentrações de exposição (Siddiqui et al., 2013). Atualmente, a principal fonte de contaminação ambiental por este metal está relacionada à atividade humana e, em particular, a indústria do cobre que causa impacto constante na distribuição do metal na terra (Latorre et al., 2019).

O chumbo é um metal cinzento-azulado presente em pequenas quantidades na crosta terrestre. Embora disponível naturalmente no ambiente, atividades antropogênicas como a queima de combustíveis fósseis, a mineração e a manufatura contribuem para a sua ocorrência em concentrações elevadas (Tchounwou et al., 2012). A exposição ao chumbo induz alterações patológicas clínicas por meio de toxicidade que ocorre nos rins e no sistema endócrino em animais, sendo que o alto nível de Pb resulta em falha reprodutiva, baixo desempenho, envenenamento e morte (Assi et al., 2016).

O manganês é um elemento também encontrado no ambiente, sendo um metal de transição e um constituinte normal do ar, água, solo e alimentação (ATSDR, 2012). Portanto, a exposição excessiva pode ser decorrente de níveis elevados de Mn em água potável ou no ar, sendo o resultado de atividades antropogênicas na indústria, soldadura, mineração e agricultura (Sanders et al., 2015), podendo ser tóxica para os organismos através das suas diferentes fases da vida (O'Neal et al., 2015).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do presente estudo é avaliar o papel de *U. cordatus* como potencial bioindicador de contaminação por metal no ecossistema manguezal, na costa amazônica.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar a concentração de cinco metais (Cd, Cr, Cu, Pb e Mn) na população de caranguejos;
- Investigar a presença de metais pesados no sedimento de duas áreas de manguezal (uma conservada e outra antropizada) da costa paraense;

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdullah, M. M.; Lee, S. Y.. Meiofauna and crabs in mangroves and adjoining sandflats: Is the interaction physical or trophic?. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v.479, p.69-75, 2016.

Adams SM, Shepard KL, Greeley Jr MS, Jimenez BD, Ryan MG, Shugart LR, McCarthy JF, Hinton DE (1989) The use of bioindicators for assessing the effects of pollutant stress on fish. *Mar Environ Res* 28:459-464.

Ahearn, G.A., 2010. Heavy metal transport and detoxification in crustacean gastrointestinal and renal epithelial cells. In: Kalups, R.K., Koropatnick, J. (Eds.), *Cellular and Molecular Biology of Metals*. CRC Press, New York, pp. 295–326.

Ahmad, A., Muneer, B., & Shakoori, A. R. (2012). Effect of chromium, cadmium and arsenic on growth and morphology of HeLa cells. *J Basic Appl Sci*, 8, 53-8.

Al-Attar, A.M. (2011). Vitamin E attenuates liver injury induced by exposure to lead, mercury, cadmium and copper in albino mice. *Saudi J Biol Sci*. 18(4), 395-401.

Ali, Nadia G., and Ibrahim M. Aboyadak. "Histopathological alterations and condition factor deterioration accompanied by isopod infestation in *Tilapia zilli*, *Mugil capito* and *Solea aegyptiaca* from Lake Qaroun." *The Egyptian Journal of Aquatic Research* 44.1 (2018): 57-63.

Alloway, B. J. (2013). Sources of heavy metals and metalloids in soils. In *Heavy metals in soils* (pp. 11-50). Springer, Dordrecht.

Andrade,S.F.,Matos,T.B.,&Carvalho,C.E.V.(2011).Variação Sazonal de Metais Pesados em Siris *Callinectes ornatus* (Ordway, 1863) da Lagoa de Iquipará, Brasil. *Revista Virtual de Química*. <https://doi.org/10.5935/19846835.20110017>.

Attanayake, C. P., Hettiarachchi, G. M., Martin, S., & Pierzynski, G. M. (2015). Potential bioavailability of lead, arsenic, and polycyclic aromatic hydrocarbons in compost- amended urban soils. *Journal of Environmental Quality*, 44(3), 930-944.

Asati, A., Kaittanis, C., Santra, S., & Perez, J. M. (2011). pH-tunable oxidase-like activity of cerium oxide nanoparticles achieving sensitive fluorogenic detection of cancer biomarkers at neutral pH. *Analytical Chemistry*, 83(7), 2547-2553.

Asati, Ambika; Pichhode, Mohnish; Nikhil, Kumar. Efeito dos metais pesados nas plantas: uma visão geral. *Jornal Internacional de Aplicação ou Inovação em Engenharia e Gestão*, v. 5, n. 3, pág. 56-66, 2016.

Assi, M. A., Hezmee, M. N. M., Abd Wahid Haron, M. Y. M., & Sabri, M. A. R. (2016). The detrimental effects of lead on human and animal health. *Veterinary world*, 9(6), 660.

ATSDR, 2012. Toxicological Profile for Manganese. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Atlanta, GA.

Batley GE (2012) “Heavy metal”—a useful term. *Integr Environ Assess Manag* 8(2):215

Bodin, N., Ka, R. G., Le Loc’h, F., Raffray, J., Budzinski, H., Peluhet, L., & de Morais, L. T. (2011). Are exploited mangrove molluscs exposed to persistent organic pollutant contamination in Senegal, West Africa?. *Chemosphere*, 84(3), 318-327.

Borja, A., Basset, A., Bricker, S., Dauvin, J., Elliot, M., Harrison, T., Marques, J.C., Weisberg, S., West, R., 2012. Classifying ecological quality and integrity of estuaries. In: Wolanski, E., McLusky, D. (Eds.), *Treatise on Estuarine and Coastal Science*. Academic Press, Waltham, USA, pp. 125–162.

Brown, D. S., Brown, J. C., & Brown, C. (2016). Land occupations and deforestation in the Brazilian Amazon. *Land Use Policy*, 54, 331–338.

Cesar, A. Análisis ecotoxicológico integrado de la contaminación marina em los sedimentos de la costa de Murcia: el caso de Pórtmán, sudeste- España. 2003.116f. Tese 9doutorado em Ciências Biológicas) – Facultat de biologia, Universidad de Murcia, España, 2003.

Chagas, G. C. Avaliação do potencial bioindicador de *Trichodactylus fluviatilis* (LATREILLE, 1928) (Crustacea: decapoda: Trichodactylidae) na bacia do rio Corumbataí (SP). 2008. 56 f. Dissertação (Mestrado em Zoologia). Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, 2008.

Duarte, L. F. D. A., Souza, C. A., Pereira, C. D. S., Pinheiro, M. A. A., 2017. Metal toxicity assessment by sentinel species of mangroves: In situ case study integrating chemical and biomarkers analyses. *Ecotoxicology and environmental safety*, 145, 367-376.

Eça, G. F., Pedreira, R. M. A., and Hatje, V. (2013). Trace and major elements distribution and transfer within a benthic system: polychaete *Chaetopterus variopedatus*, commensal crab *Polyonyx gibbesi*, worm tube, and sediments. *Marine Pollution Bulletin* 74, 32–41.

Espinoza-Villar, R., Martinez, J. M., Armijos, E., Espinoza, J. C., Filizola, N., Dos Santos, A., ... & Vauchel, P. (2018). Spatio-temporal monitoring of suspended sediments in the Solimões River (2000–2014). *Comptes Rendus Geoscience*, 350(1-2), 4-12.

Ferreira, W. R.; Ligeiro, R.; Macedo, D. R.; Hughes, R. M.; Kaufmann, P. R.; Oliveira, L. G.; Callisto, M.. Importance of environmental factors on the richness and distribution

of benthic macroinvertebrates in tropical headwater streams. *Freshwater Science*, v.33, p.860-871, 2014.

Ferreira, A. C.; Lacerda, L. D.. Degradation and conservation of Brazilian mangroves, status and perspectivas. *Ocean and Coastal Management*, v.125, p.3846, 2016.

Furini, Antonella (Ed.). *Plantas e metais pesados*. Springer Science & Business Media, 2012.

Guala, S. D., Vega, F. A., & Covelo, E. F. (2010). The dynamics of heavy metals in plant–soil interactions. *Ecological Modelling*, 221(8), 1148-1152.

Harford, A.J., Hogan, A.C., Jones, D.R., Dam, R.A.V., 2015. Ecotoxicology of highly treated mine waters: lessons from an Australian Mine. *Mine Water Environ.* 34 (1), 75–86.

Hogarth, Peter J. *The biology of mangroves and seagrasses*. Oxford University Press, 2015.

Jacobs JA, Testa SM (2005) Overview of chromium (VI) in the environment: background and history. In: Guertin J, Jacobs JA, Avakian CP (eds) *Chromium (VI) handbook*. CRC Press, New York, pp. 1–21

Jakimska, A., Konieczka, P., Skóra, K., & Namieśnik, J. (2011). Bioaccumulation of Metals in Tissues of Marine Animals, Part I: the Role and Impact of Heavy Metals on Organisms. *Polish Journal of Environmental Studies*, 20(5).

Jesus, H.C., Fernandes, L.F.L., Zandonade, E., Anjos-Jr, E.E., Gonc-alves, R.F., Marques, F.C., Reis, L.A., Romano, C.T., Teixeira, R.D., Santos-Sad, C.M., 2003. Avaliação da contaminação por metais pesados em caranguejos e sedimentos de áreas de manguezal do sistema estuarino de Vitória - ES. *Facitec/Prefeitura Municipal de Vitória, Vitória, Brazil*.

Kjerfve, B., & Lacerda, L. D. (1993). Mangroves of Brazil conservation and sustainable utilization of mangrove forests in Latin America and Africa regions. *Latin Okinawa. America, Part I*, 245–272.

Kojadinovic, J.; Potier, M.; Le Corre, M.; R. P.; Bustamante, P., 2007. Bioaccumulation of trace elements in pelagic fish from the Western Indian Ocean. *Environ. Pollut.*, v 146, p. 548-566.

Lapedes, D. N. *Dictionary of scientific and technical terms*. New York: MacGraw Hill, 1974.

Latorre, M., Troncoso, R., & Uauy, R. (2019). Biological aspects of copper. In *Clinical and translational perspectives on Wilson disease* (pp. 25-31). Academic Press.

Lezcano, A. H.; Quiroga, M. L. R.; Liberoff, A. L.; Molen, S. V. D.. Marine pollution effects on the Southern surf crab *Ovalipes trimaculatus* (Crustacea: Brachyura: Polybiidae) in Patagonia Argentina. *Marine Pollution Bulletin*, v.91, p.524-529, 2015.

Matheson, K.; Gagnon, P.. Effects of temperature, body size, and chela loss on competition for a limited food resource between indigenous rock crab (*Cancer irroratus* Say) and recently introduced green crab (*Carcinus maenas* L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v.428, p.49-56, 2012.

Mendes, C. A. B., Beluco, A., & Canales, F. A. (2017). Some important uncertainties related to climate change in projections for the Brazilian hydropower expansion in the Amazon. *Energy*, 141, 123–138.

Mohammed, Ali Seid, Anil Kapri, and Reeta Goel. "Heavy metal pollution: source, impact, and remedies." *Biomangement of metal-contaminated soils*. Springer, Dordrecht, 2011. 1-28.

Monteiro, M.A.B, Oliveira, F.P., Araújo, J.N., Fernandes, M.E.B. 2014. Productive Chain of the Mangrove Crab (*Ucides cordatus*) in the Town of Bragança, in the Northern Brazilian State of Pará (Amazon Region). *Journal of Coastal Research*, 70, 443-447

Moraes, E. E. B.; Nunes, B. J. B. M.; Pinheiro, M. A. A.. Population biology of the 'uçá'-crab, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Brachyura: Ucididae), in mangroves of the Joanes River, Bahia State, Brazil. *Nauplius*, v.23, p.59-71, 2015.

Nordi, N; Nishida, A. K.; Alves, R. R. N. 2009. Effectiveness of two gathering techniques for *Ucides cordatus* in Northeast Brazil: implications for the sustainability of mangrove ecosystems. *Human Ecology*, 37: 121-127.

Nudi, A. H., Wagener, A. D. L. R., Francioni, E., de Lemos Scofield, A., Sette, C. B., & Veiga, A. (2007). Validation of *Ucides cordatus* as a bioindicator of oil contamination and bioavailability in mangroves by evaluating sediment and crab PAH records. *Environment International*, 33(3), 315-327.

Oliveira, P. J. A.; Coelho, P. A.; Castiglioni, D. S.. Population biology of *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea, Brachyura, Ucididae) from two tropical mangroves sites in northeast coast of Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, v.8, p.89-103, 2013.

O'Neal, S. L., & Zheng, W. (2015). Manganese toxicity upon overexposure: a decade in review. *Current environmental health reports*, 2(3), 315-328.

Palaniappan, P. L. R.M; Karthikeyan, S. 2009. Bioaccumulation and depuration of chromium in the selected organs and whole body tissues of freshwater fish *Cirrhinus mrigala* individually and in binary solutions with nickel. *Journal of Environmental Science*, v. 21, p. 229-236.

- Pinheiro, M.A.A., Fiscarelli, A.G., Hattori, G.Y., 2005. Growth of the mangrove crab *Ucides cordatus* (Brachyura, Ocypodidae). *J. Crust. Biol.* 25 (2), 293–301.
- Pinheiro, M.A.A., Silva, P.P.G., Duarte, L.F.A., Almeida, A.A., Zanoto, F.F., 2012. Accumulation of six metals in the mangrove crab *Ucides cordatus* (Crustacea: Ocypodidae) and its food source, the red mangrove *Rhizophora mangle* (Angiosperma: rhizophoraceae). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 81, 114–121.
- Remali, T.M., Simpson, S.L., Amato, E.D., Spadaro, D.A., Jarolimek, C.V., Jolley, D.F., 2016. The impact of sediment bioturbation by secondary organisms on metal bioavailability, bioaccumulation and toxicity to target organisms in benthic bioassays: implications for sediment quality assessment. *Environ. Pollut.* 208, 590–599.
- Rodrigues, A. M. T., Branco, E. J., Saccardo, S. A., & Blankensteyn, A. (2000). A exploração do caranguejo *Ucides cordatus* (Decapoda: Ocypodidae) e o processo de gestão participativa para normatização da atividade na região Sudeste-Sul do Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 26(1), 63-78.
- Santos, T.A.; Bomfim, T.M.; Silva, A.F.; Silva, A.G.; Bandeira, M.L.S.F.; Jesus, R.M.; Nascimento, L.D. Determinação de metais em um sistema estuarino: Laguncularia Racemosa como um potencial indicador de contaminação. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 49, p. 51-65, 2018. <https://doi.org/10.5327/10.5327/Z2176-947820180352>
- Saher, N. U., Siddiqui, A. S., 2019. Occurrence of heavy metals in sediment and their bioaccumulation in sentinel crab (*Macrophthalmus depressus*) from highly impacted coastal zone. *Chemosphere*, 221, 89-98.
- Sall, M. L., Fall, B., Diédhiou, I., Dièye, E. H., Lo, M., Diaw, A. K. D., ... & Fall, M. (2020). Toxicity and electrochemical detection of lead, cadmium and nitrite ions by organic conducting polymers: a review. *Chemistry Africa*, 3(3), 499-512.
- Sanders, A. P., Henn, B. C., & Wright, R. O. (2015). Perinatal and childhood exposure to cadmium, manganese, and metal mixtures and effects on cognition and behavior: a review of recent literature. *Current environmental health reports*, 2(3), 284-294.
- Seid, M. A., Kapri, A. & Goel, R. "Heavy metal pollution: source, impact, and remedies." *Bio-management of metal-contaminated soils*. Springer, Dordrecht, 2011. 1-28, 2011.
- Siddiqui, M. A., Alhadlaq, H. A., Ahmad, J., Al-Khedhairy, A. A., Musarrat, J., & Ahamed, M. (2013). Copper oxide nanoparticles induced mitochondria mediated apoptosis in human hepatocarcinoma cells. *PloS one*, 8(8), e69534.
- Singh, Jiwan; Kalamdhad, Ajay S. Effects of heavy metals on soil, plants, human health and aquatic life. *International journal of Research in Chemistry and Environment*, v. 1, n. 2, p. 15-21, 2011.

Solar, R. R. C., Barlow, J., Andersen, A. N., Schoereder, J. H., Berenguer, E., Ferreira, J. N., & Gardner, T. A. (2016). Biodiversity consequences of land-use change and forest disturbance in the Amazon: a multi-scale assessment using ant communities. *Biological Conservation*, 197, 98–107.

Souza-Filho, Pedro WM, et al. "The subsiding macrotidal barrier estuarine system of the eastern Amazon coast, Northern Brazil." *Geology and geomorphology of Holocene coastal barriers of Brazil*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. 347-375.

Souza, I. C.; Morozesk, m. ; Duarte, I. D.; Bonomo, M. M.; Rocha, I. D.; Furlan, I. M.; Arrivabene, H. P.; Monferrán, m. V.; Matsumoto, s. T.; Milanez, R. D.; Wunderlin, D. A.; Fernandes, M. N.. Matching pollution with adaptive changes in mangrove plants by multivariate statistics. A case study, *Rhizophora mangle* from four neotropical mangroves in Brazil. *Chemosphere*, v.108, p.115-124, 2014.

Tchounwou, Paul B. et al. Toxicidade de metais pesados e meio ambiente. *Toxicologia molecular, clínica e ambiental*, p. 133-164, 2012.

USEPA – Environmental protection Agency, 1996. EPA 712- C-96-114. OPPTS 850.1010. Aquatic invertebrate toxicity test, freshwater daphnids: ecological effects test guidelines. Whashington, USA.

USEPA- Environmental protection Agency, 2002. EPA-821-R-02-1. Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms. 5th ed. Whashington, USA.

Vilhena, M. S., Costa, M. L., & Berredo, J. F. (2013). Accumulation and transfer of Hg, As, Se, and other metals in the sediment-vegetation-crab-human food chain in the coastal zone of the northern Brazilian state of Pará (Amazonia). *Environmental geochemistry and health*, 35(4), 477-494.

Wellens, S.; Sandrini-neto, L.; Gonzálezwanguemert, M.; Lana, P.. Do the crabs *Goniopsis cruentata* and *Ucides cordatus* compete for mangrove propagules? A field-based experimental approach. *Hydrobiologia*, v.757, p.117-128, 2015.

Wong, C. S. C., Li, X. Thornton I., 2006. Urban environmental geochemistry of trace metals, review. *Environ pollut* 142:1-16.

Zagatto, P. A.; Bertoletti, E. *Ecotoxicologia Aquática: princípios e aplicações*. Sao Carlos: Rima, 2006.

CAPÍTULO 2

Artigo a ser submetido à revista Acta Amazonica

AVALIAÇÃO DO CARANGUEJO-UÇÁ, *Ucides cordatus* (OCIPODIDAE) COMO POTENCIAL BIOINDICADOR DE CONTAMINAÇÃO POR METAL NOS MANGUEZAIS DA COSTA PARAENSE

Deliane Hillary do Amaral RODRIGUES; Ádria de Carvalho FREITAS; Marcus Emanuel Barroncas FERNANDES

RESUMO

O caranguejo-uçá, *Ucides cordatus*, é um recurso natural fortemente explorado na região amazônica e tem sido utilizado como importante bioindicador de contaminação por metais pesados no Brasil. No presente trabalho, quantificou-se a concentração e bioacumulação de cinco metais (Cd, Cr, Cu, Mn e Pb) em *U. cordatus*, afim de avaliar a espécie como potencial bioindicador de contaminação por metal no ecossistema manguezal, na costa paraense. Foram capturados três espécimes por subárea amostral (n = 3) de mangue na cidade de Bragança (área considerada conservada) e Viseu (área considerada antropizada), ambas no estado do Pará, assim como amostras de sedimento. As concentrações metálicas nas amostras bióticas e abióticas foram quantificadas por Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), com posterior estimativa do Fator de Bioacumulação e de análises multinível para os metais avaliados. Os resultados obtidos no sedimento mostraram que o Mn detectado na área antropizada foi três vezes mais elevado do que da área preservada. Os metais Cu e Cr apresentaram diferenças significativas e os maiores valores para a área antropizada. Na musculatura do caranguejo, as concentrações de Cu das amostras coletadas na área antropizada foram mais elevadas do que dos caranguejos da área preservada. O Pb foi o segundo metal apresentando valor maior nos espécimes coletados na área conservada do que na antropizada. Concluindo que o caranguejo-uçá se apresenta como ótima espécie bioindicadora do estado de conservação de áreas de manguezal na costa amazônica, apresentando parâmetros autênticos à categorização do nível de contaminação das áreas aqui estudadas.

PALAVRAS-CHAVE

Manguezais amazônicos, bioacumulação, contaminação ambiental, indicador biológico, costa amazônica brasileira

ABSTRACT

The crab, *Ucides cordatus*, is a natural resource heavily exploited in the Amazon region and has been used as an important bioindicator of heavy metal contamination in Brazil. In the present study, we quantified the concentration and bioaccumulation of five metals (Cd, Cr, Cu, Mn, and Pb) in *U. cordatus*, in order to evaluate the species as a potential bioindicator of metal contamination in the mangrove ecosystem of the Pará coast. Three specimens were captured per sampling subarea (n = 3) of mangrove in the cities of Bragança (considered a preserved area) and Viseu (considered an anthropized area), both in the state of Pará, as well as sediment samples. Metal concentrations in biotic and abiotic samples were quantified by Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry (ICP-OES), with the subsequent estimation of the Bioaccumulation Factor and multilevel analysis for the metals evaluated. The results obtained in the sediment showed that the Mn detected in the anthropized area was three times higher than in the preserved area. The metals Cu and Cr presented significant differences and the highest values for the anthropized area. In the crab musculature, Cu concentrations of samples collected in the anthropized area were higher than in the crabs from the preserved area. Pb was the second metal showing a higher value in the specimens collected from the preserved area than in the anthropized area. In conclusion, the crab presents itself as an excellent bioindicator species of the state of conservation of mangrove areas in the Amazon coast, presenting authentic parameters to categorize the level of contamination of the areas studied here.

KEY WORDS

Amazonian mangroves, bioaccumulation, environmental contamination, biological indicator, Brazilian Amazon coast

1. INTRODUÇÃO

Os metais são encontrados naturalmente no ambiente, no entanto, com o rápido crescimento populacional, desenvolvimento econômico e o aumento da descarga de resíduos em ambientes do meio aquático houve um aumento significativo da contaminação por metais, alterando gradativamente as propriedades dos ecossistemas costeiros, como o manguezal, comprometendo assim a segurança e qualidade dos recursos nele encontrados, como os frutos do mar (Dhanakumar et al., 2015; Saha et al., 2016).

O manguezal é um ecossistema altamente produtivo, com intensa ciclagem de nutrientes, atuando como local de reprodução, desenvolvimento, alimentação, refúgio e abrigo para muitas espécies animais (Fernandes, 2000; Nagelkerken et al., 2008; Lee et al., 2014). As áreas de manguezal representam uma zona de transição entre o ambiente marinho e terrestre influenciado pelo regime de marés (Hogarth, 2015), com diversos fatores que facilitam a acumulação dos metais pesados no solo, promovendo o processo de biomagnificação (Bourgeois et al., 2019).

No Brasil, os manguezais ocorrem desde o estado do Amapá até Santa Catarina (Herz, 1991), com cerca de 80% desse ecossistema ocorrendo ao longo da costa amazônica, nos estados do Amapá, Pará e Maranhão (Diniz et al., 2019). Essa região forma a costa amazônica brasileira que abriga a maior faixa contínua de manguezal do mundo (Souza Filho, 2005), sendo intensamente explorados pelas comunidades costeiras por oferecerem uma variedade de recursos economicamente importantes (Santos et al., 2017).

O caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Brachyura, Ocypodidae), destaca-se como um importante recurso natural explorado pela população local, utilizado tanto para a subsistência quanto para a exportação (Alves & Nishida, 2003). Além da importância econômica, este crustáceo possui grande relevância do ponto de vista ecológico por serem organismos-chave para o funcionamento do manguezal, uma vez que influenciam muitos processos biogeoquímicos (Kristensen & Alongi, 2006). O caranguejo-uçá também é utilizado como bioindicador para as i) pressões antrópicas sobre o ambiente, cuja intensificação nos últimos anos tem sido em decorrência das características peculiares como o longo e lento ciclo de vida (longevidade: ~ 17 anos e maturidade sexual: aos 3 anos, respectivamente) e baixa mobilidade na vida adulta

(Pinheiro et al. 2005, 2012; Costa et al. 2014) e ii) acumulação de metais e toxicidade aquática em sua área de ocorrência (Ortega et al. 2014).

O estudo da bioacumulação de metais em organismos aquáticos pode avaliar os possíveis impactos relacionados à poluição dos metais nos diferentes ambientes, tendo em conta o aspecto da biodisponibilidade (Dhanakumar et al., 2015; Abdel-Khalek et al., 2016; Zhang et al., 2016). Na costa amazônica, por exemplo, há diversos estudos utilizando e comprovando a eficácia do caranguejo-uçá como bioindicador de contaminação por metais pesados (Vilhena et al., 2013; Morales et al., 2018; Rocha & Lima, 2020; Jesus et al., 2021). Assim, o principal objetivo do presente estudo foi avaliar o papel do caranguejo-uçá, *U. cordatus*, como potencial bioindicador de contaminação por metal em duas regiões de manguezal localizadas na costa paraense. A determinação da concentração de cinco metais (Cd, Cr, Cu, Pb e Mn) e a comparação entre áreas definidas como conservadas e antropizadas foram utilizadas para auxiliar na avaliação da contaminação no ambiente e a possível acumulação desses metais na biota típica dos manguezais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Áreas de estudo

Foram selecionadas duas áreas de manguezal em dois municípios no Estado do Pará (Figura 1). As áreas foram classificadas previamente e de acordo com a presença (Antropizada - A) ou ausência (Conservada - C) de potenciais atividades antrópicas, possível contaminação por metais e exploração econômica do caranguejo-uçá. A área considerada Antropizada está localizada no município de Bragança (Figura 1A), enquanto a considerada Conservada localiza-se no município de Viseu (Figura 1B). Cada área é composta por três subáreas de manguezal (réplicas), evitando a pseudo-replicação (Hurlberg, 1984) e garantindo maior abrangência e confiabilidade aos resultados (Pinheiro et al., 2017).

O município de Bragança está localizado na mesorregião Nordeste Paraense e na microrregião Bragantina, distando 210 km da capital, Belém. Abriga a Reserva Extrativista Marinha (RESEX Mar) de Caeté-Taperaçu. Este município é considerado para o Estado um grande exportador de pescado, sendo esta uma das principais atividades econômicas da cidade de Bragança que se destaca como uma dos maiores

produtoras de caranguejo-uçá na região norte do país (Furtado-Júnior et al., 2016). O município de Viseu, por sua vez, também faz parte da mesorregião Nordeste Paraense e a microrregião Salgado. Abriga a RESEX Mar de Gurupi-Piriá que possui cobertura vegetal dominada por florestas de mangue e, assim como a maioria das cidades amazônicas, sua economia é baseada principalmente na agricultura e na pesca. Durante anos foi realizada intensa atividade de extração de ouro neste município, sendo encerrada no ano de 2000 (DNMP, 2007).

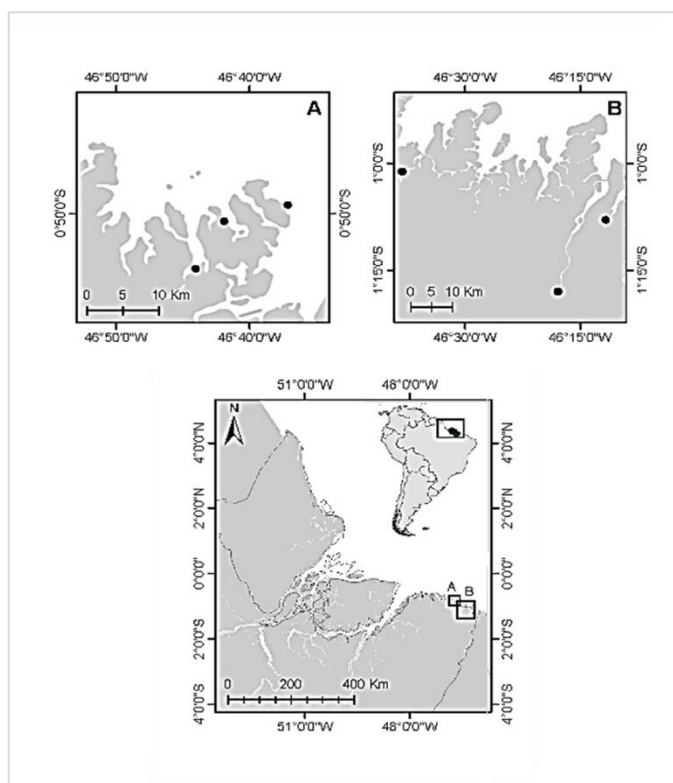


Figura 1. Localização das áreas de manguezal nos municípios de Bragança (A) e Viseu (B) e suas respectivas subáreas de amostragem (•).

2.2 Coleta de caranguejos e sedimentos e preparação das amostras

A captura dos exemplares de caranguejo-uçá, *U. cordatus*, para a análise da concentração de metais nos tecidos/estruturas foi realizada manualmente, sendo capturados três espécimes por subárea e totalizando 18 caranguejos considerando as duas áreas amostrais. Todos os caranguejos amostrados eram machos com largura de carapaça (LC) acima de 60 mm e encontravam-se em estágio de intermuda (Pinheiro & Fiscarelli, 2001). Após a transferência dos caranguejos para o laboratório, os

exemplares foram crioanestesiados e, em seguida, dissecados para coleta de amostras de musculatura dos quelípodos que foram mantidas sob congelamento (-20°C) até o momento da liofilização ou criodessecação. Este é um processo de desidratação em que o produto é congelado sob vácuo e o gelo formado, sublimado. Após o processo de liofilização por 48 h, as amostras foram transportadas ao Laboratório de Toxicologia III, do Instituto Evandro Chagas (IEC) em Belém - PA, para a análise da detecção e quantificação dos metais.

As amostras de sedimento foram coletadas manualmente com a assistência de uma pá de polipropileno, seguindo um padrão de profundidade (até 10cm), próximos as tocas do caranguejo uçá para, cuidadosamente, coletar apenas o sedimento não bioturbado. As amostras foram armazenadas e etiquetadas em sacos plásticos de polietileno, e conduzidas em caixas isotérmicas até o laboratório. No laboratório, as amostras secaram à temperatura ambiente, desegregadas em pistilo e almofariz e armazenadas em tubos de polipropileno sob refrigeração até a momento da análise de metais.

2.3 Análise morfológica do caranguejo-uçá

Os espécimes coletados foram mensurados quanto a largura de carapaça e peso corporal, resultando na variação de peso entre 134 e 241 g no município de Bragança e 130 e 211g em Viseu. E largura da carapaça (LC) apresentando variação de 70,2 a 82,3 cm em Bragança e de 65,8 a 81,9 cm em Viseu, não apresentando diferença significativa na análise comparativa de cada uma das variáveis (Peso; $U=394$; g.l.=1; $p>0,05$ e LC; $U=390$; g.l.=1; $p>0,05$).

2.4 Análise da concentração de metais

Todas as amostras foram submetidas ao procedimento analítico de digestão ácida por micro-ondas (Mars Xpress) CEM. As concentrações dos metais foram medidas por Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES, Vista-MPX CCD simultâneo, Varian, Mulgrave, Austrália). Os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) para os metais analisados (em $\mu\text{g g}^{-1}$) são apresentados na Tabela 1. Análise de amostras em branco, Material de Referência Certificado (MRC) e duplicatas também foram efetuadas. O controle e qualidade da análise foram realizados pelo Método de Adição Padrão, conforme USEPA 200.9

(USEPA, 1994). As recuperações obtidas para os elementos em estudo apresentaram variações de 70 a 120%. Toda a vidraria utilizada foi lavada com ácido nítrico (65% Merck) e enxaguada com água Milli-Q.

Tabela 1. Limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) para os cinco metais avaliados: Cu: cobre; Cd: cádmio; Cr: cromo; Pb: chumbo e Mn: manganês em musculatura de *U. cordatus* na Região Amazônica (em $\mu\text{g g}^{-1}$).

Estrutura	Limite	Cu	Cd	Cr	Pb	Mn
Musculatura	LD	3,7857	0,974	2,1324	22,1602	0,2414
	LQ	12,6191	3,2467	7,1079	73,8674	0,8045

2.5 Análise comparativa da concentração de metais na musculatura e sedimento

As concentrações de metais no músculo foram comparadas aos valores de referência citados no Decreto nº 55.871/1965, na Portaria ANVISA nº 685/1998 e Instrução Normativa nº 88, de 26 de Março de 2021, que estabelecem os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos, não existindo qualquer alusão ao manganês em ambas as legislações (Brasil, 2021).

Para avaliação sobre a quantidade de metais no sedimento, os resultados foram comparados aos das diretrizes fornecidas pela legislação canadense, uma vez que ainda não há uma legislação nacional que determine tais valores, de acordo com os seguintes critérios: 1) Nível de Efeito Limiar (TEL - “Threshold Effect Level”), que indica a concentração abaixo da qual os efeitos biológicos adversos são raramente observados (b10%) e 2) Nível de Efeito Provável (PEL - “Probable Effect Level”), que é a concentração acima da qual os efeitos biológicos adversos são raramente observados (b10%), mas os efeitos biológicos são frequentemente observados (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de referência do nível de efeito limiar (TEL) e nível de efeito provável (PEL) para concentrações de metais em sedimento e água salobra "classe 1".

Metais	Sedimentos ($\mu\text{g/g} = \text{mg/kg}$)*	
	TEL	PEL
Cobre	19	110
Manganês	-	-
Cádmio	0,67	4,2
Cromo	52	160
Chumbo	30	110

TEL = “Threshold Effect Level”; PEL = “Probable Effect Level”; * Hortellani et al. (2008).

2.6 Fator de Bioacumulação

O fator de bioconcentração ou fator de bioacumulação (FAB) (ou seja, a concentração de um elemento no tecido do caranguejo dividida pela concentração na amostra de sedimento) foi usado para avaliar a transferência de metais pesados dos sedimentos para os tecidos do caranguejo. Diferentes quantidades de FAB entre os organismos indicam sua capacidade de acumular metais do ambiente (Zhang et al., 2011). Enquanto isso, BAF >1 indica o acúmulo efetivo de metais pesados pelos organismos (Eyong, 2008).

2.7 Análise estatística

A variância da distribuição de dados foi avaliada utilizando um teste Shapiro-Wilk e a homoscedasticidade foi analisada pelo teste de Levene (Faraway, 2002). Para dados com distribuição normal foi utilizado um teste-t para avaliar a existência de diferenças de dados biométricos entre as áreas nos diferentes estágios de conservação, enquanto os dados que não apresentaram distribuição normal foram analisados pelo teste não paramétrico de Mann-Whitney. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se a versão 'R' 3.2.3 (R Core Team, 2016).

3. RESULTADOS

3.1 Área conservada vs. área antropizada

A concentração de metal no sedimento do manguezal e na musculatura do caranguejo foram comparadas de acordo com a tipologia das áreas: conservada e antropizada. Para a área conservada, a ordem das concentrações totais de metais no sedimento foi: Mn > Cr > Pb > Cu > Cd e para a musculatura foi: Cu > Pb > Cr > Cd > Mn. Já para a área antropizada, a ordem das concentrações no sedimento ocorreu da seguinte maneira: Mn > Cr > Pb > Cu > Cd, enquanto que para a musculatura foi: Cu > Pb > Mn > Cr > Cd (Tabela 3).

O nível de Mn detectado no sedimento da área antropizada foi aproximadamente três vezes mais elevado do que da área preservada, com variação de 255,7 a 880,5 µg/g (558,5±238,2 µg/g) e com diferença estatística significativa ($U=ND$; g.l.=1; $p < 0,05$). Da mesma forma, os metais Cu e Cr também apresentaram diferenças significativas (Cu: $U= 9$; g.l.=1; $p < 0,05$ e Cr: $U= 11$; g.l.=1; $p < 0,05$) e os maiores valores para a

área antropizada ($10,2\pm 2,8$ e $87,1\pm 21,7$ $\mu\text{g/g}$, respectivamente).

As concentrações de Cu na musculatura dos caranguejos coletados na área antropizada foram mais elevadas ($9,2\pm 2,1$ $\mu\text{g/g}$, com variação de 28,34 a 67,47 $\mu\text{g/g}$) do que dos caranguejos da área preservada ($6,14\pm 1,5$ $\mu\text{g/g}$, variando de 14,6 a 40,17 $\mu\text{g/g}$), apresentando diferença significativa ($U= 8,5$; g.l.=1; $p<0,05$). O Pb foi o segundo metal com detecção significativa para a musculatura, apresentando valor maior nos espécimes coletados na área conservada (0,22 a 18,3 $\mu\text{g/g}$ e média de $1,01\pm 1,3$ $\mu\text{g/g}$), apesar das áreas não diferirem significativamente ($U= 39$; g.l.=1; $p>0,05$).

Tabela 3. Comparação das concentrações (média±desvio padrão) dos cinco metais analisados a partir das amostras de sedimento das florestas de mangue e musculatura dos caranguejos coletadas nas áreas conservada (Bragança) e antropizada (Viseu).

METAL	MATRIZ	ÁREA	Média±DP	<i>p</i>
Cu	Músculo	Bragança	6,14±1,5	0,005
		Viseu	9,2±2,1	
	Sedimento	Bragança	5,7±2,5	0,005
		Viseu	10,2±2,8	
Pb	Músculo	Bragança	1,01±1,3	0,8946
		Viseu	0,86±0,7	
	Sedimento	Bragança	12,0±6,0	0,4268
		Viseu	13,5±5,9	
Cr	Músculo	Bragança	0,41±0,1	0,6588
		Viseu	0,36±0,12	
	Sedimento	Bragança	56,04±20,8	0,0092
		Viseu	87,1±21,7	
Cd	Músculo	Bragança	0,30±0,05	0,427
		Viseu	0,32±0,08	
	Sedimento	Bragança	1,95±1,1	0,122
		Viseu	2,52±1,0	
Mn	Músculo	Bragança	0,25±0,2	0,0104
		Viseu	0,75±0,7	
	Sedimento	Bragança	171,2±43,8	0,0003
		Viseu	558,5±238,2	

A Figura 2 mostra a variação dos metais pesados em *U. cordatus* nas duas áreas estudadas, destacando através das linhas pontilhadas os limites admissíveis dos

respectivos metais para a musculatura de crustáceos, de acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).

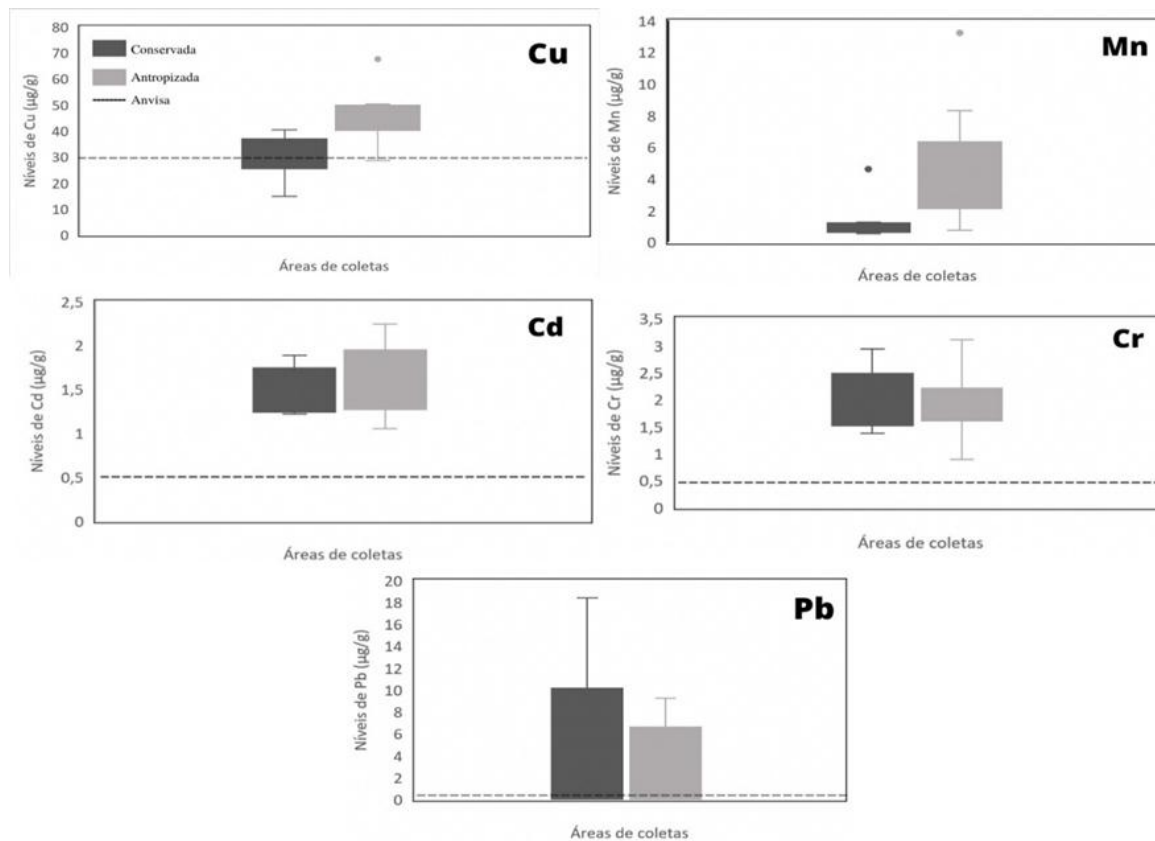


Figura 2. Concentração de metais pesados na musculatura de *Ucides cordatus* (µg/g). Linhas pontilhadas representam os valores limítrofes para os cinco metais analisados de acordo com a ANVISA.

3.2 Fator de bioacumulação (FBA)

Os resultados obtidos para o fator de bioacumulação (FBA) demonstraram a ocorrência do processo bioacumulativo ($BFA > 1$) na musculatura de *U. cordatus* apenas para o metal Cu (1,08) na área conservada, não sendo observado para os demais metais.

4. DISCUSSÃO

Estudos realizados com *U. cordatus* demonstraram que esta espécie é um potencial bioindicador para a contaminação por metais em área de manguezais (Pinheiro et al., 2012, 2013; Duarte et al., 2016, 2017; Bosco-santos et al., 2017; Carvalho-Neta et al., 2019; Jesus et al., 2021). Os resultados aqui apresentados também corroboram que o caranguejo-uçá, mesmo não sendo observada a bioacumulação para todos os metais analisados e em ambas as áreas estudadas, a observação dos valores elevados de concentração de metais na musculatura dos caranguejos analisados demonstra o potencial bioindicador para a contaminação por metais nesse crustáceo.

Na avaliação aqui apresentada para as concentrações dos cinco metais pesados (Cd, Cr, Cu, Pb e Mn), os valores encontrados estão na faixa intermediária entre o TEL e o PEL, com os maiores valores na área antropizada, de acordo com as normas canadenses (Environmental Canada, 1999), e considerando a média de concentração de Cd na área antropizada possíveis efeitos adversos à comunidade biológica poderiam ser esperados, tanto de origem fisiológica quanto morfológica. As demais áreas, por mais que as dosagens estejam acima do TEL, o sedimento destas poderia, ainda, ser qualificado como adequados para estes metais, segundo a legislação estrangeira, entretanto seus efeitos para a biota são incertos. O excesso de metais no solo pode ser proveniente de uma fonte natural e de uma fonte antropogênica, através de processos que incluem a deposição atmosférica, atividades vulcânicas, esgotos, irrigação, empilhamento inadequado dos resíduos sólidos industriais, atividades mineradoras, utilização de pesticidas e fertilizantes, entre outros (Zhang et al., 2011).

A alta concentração de metais pesados no sedimento, mesmo em áreas remotas do norte do Brasil, dá-se pelo fato de que estes ecossistemas estão, em alguns casos, localizados na proximidade de áreas metropolitanas em crescente desenvolvimento, sujeitas a uma diversidade de tensores antrópicos, que põem em perigo os bens e serviços que fornecem (Araújo et al., 2019), dessa forma, apresentando risco iminente de contaminação, considerando que a margem equatorial brasileira é atualmente a nova fronteira para a exploração industrial. No entanto, estudos realizados por Berrêdo et al. 2008, em outros solos da Amazônia sugerem que a entrada de elementos vestigiais provêm da formação barreiras e são largamente lixiviados por um clima tropical intenso. Assim, presume-se que boa parte destas concentrações podem estar relacionadas a fontes naturais e, portanto, ser de origem natural e não antropogênica.

Adicionalmente, a maior contribuição de contaminantes em uma determinada área pode levar maior risco de absorção pela biota, principalmente pelas espécies com baixa mobilidade como é o caso do caranguejo-uçá (Chapman et al., 2013).

Outro fator relevante para alterar a concentração de metais é o possível excesso e práticas inadequadas de descarte de resíduos. Tais práticas podem resultar no aumento significativo das concentrações de Cd no solo, por exemplo, podendo desencadear uma série de efeitos tóxicos em toda a teia alimentar, começando pela fauna típica dos solos dos diferentes ambientes, podendo facilmente transferir-se para a vegetação e finalmente contaminar organismos bênticos, como os crustáceos (Wahid et al., 2009; Li et al., 2016).

A análise da musculatura das amostras de *U. cordatus* mostrou que à exceção do metal manganês, que não possui legislação vigente, os metais analisados apresentaram concentrações acima dos valores limites estabelecidos pela ANVISA, especialmente metais não essenciais como Cd e Pb, sugerindo a contaminação do material analisado por esses metais. Diversos estudos apontam que concentrações elevadas de Cd em crustáceos podem gerar efeitos adversos ligados principalmente aos órgãos responsáveis pela entrada e troca de substâncias com o ambiente, como o hepatopâncreas e as brânquias (Harris & Santos, 2000; Ortega et al., 2017; Carvalho-Neta et al., 2019). No caso do metal Pb os valores obtidos nas amostras estão acima do limite estabelecido pela ANVISA (0,50 µg/g) em ambas as áreas, com valores de concentração equivalentes à quase o dobro do permitido. Estudos realizados na região amazônica sugerem que há ambientes estuarinos com forte influência de esgotos e efluentes industriais, onde podem ser encontrados níveis elevados de metais que têm potencial de precipitação nos sedimentos, em função das condições de redução destes locais, do baixo nível de oxigênio dissolvido e de pH elevado, o que pode resultar no enriquecimento de metais como o Pb nas camadas de sedimento do chão da floresta (Carvalho-Neta et al., 2019; Jesus et al., 2021). Nestas condições, espécies como o caranguejo-uçá, que possui interação substancial com o sedimento durante o processo de construção de tocas (Castro et al., 2008), podem acabar absorvendo os metais ali imobilizados.

A disponibilidade desse metal no sedimento das áreas avaliadas gera preocupação para com as populações de caranguejo dessas áreas, haja vista que estudos realizados

com esses crustáceos já demonstraram que a absorção de Pb não apresenta efeitos benéficos ou nutricionais para *U. cordatus*. Alguns estudos revelam que a absorção de Pb é extremamente tóxica onde esse metal é bioacumulado, mesmo em concentrações pequenas, podendo causar alterações subletais como lesões branquiais - deformação do canal marginal, infiltração hemocítica, colapso das lamelas e inchaço das lamelas antes colapso (Carvalho-Neta et al., 2019), além de alterações hepáticas como lúmen anormal, camada mioepitelial danificada, delaminação do epitélio, núcleos piquenóticos, infiltração hemocítica e necrose (Jesus et al., 2021). O Pb foi declarado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como um dos elementos químicos mais nocivos à saúde humana (Vanz et al., 2003), sendo amplamente reconhecido como um problema significativo de saúde pública nas últimas décadas, resultando em controle estrito do contato a este metal, mesmo em níveis traço, devido aos seus efeitos adversos à saúde (Assi et al., 2016).

O Pb inorgânico é altamente venenoso e absorvido facilmente pela corrente sanguínea, podendo causar efeitos adversos em certos sistemas orgânicos, como o sistema nervoso central, o sistema cardiovascular, os rins e o sistema imunológico (Bergeson, 2008). A toxicidade, entretanto, dependerá da intensidade, do tempo de exposição e da sensibilidade individual, sendo os efeitos mais acentuados em crianças, pelo fato de que seus tecidos, internos e externos são mais macios do que os de adultos (Moreira & Moreira, 2004; Rubin & Strayer, 2008).

Os resultados obtidos para bioacumulação a partir do sedimento demonstraram a ocorrência desse processo na musculatura dos caranguejos analisados para o metal cobre na área considerada conservada, no município de Bragança. O que demonstra que esse elemento encontra-se mais biodisponível levando à bioacumulação. A concentração de cobre no corpo dos crustáceos é regulada em níveis aproximadamente constantes, sendo que se a biodisponibilidade desse metal exceder um limiar muito alto é iniciada sua acumulação (Rainbow & White, 1989), como já demonstrado anteriormente por outros estudos em manguezais do país e na região amazônica (Pinheiro et al., 2012, 2013; Duarte et al., 2016, 2017; Bosco-santos et al., 2017; Carvalho-Neta et al., 2019; Jesus et al., 2021).

5. CONCLUSÃO

Em conclusão, o caranguejo-uçá se apresenta como uma espécie bioindicadora do estado de conservação de áreas de manguezal, apresentando parâmetros autênticos à categorização do nível de contaminação das áreas aqui estudadas. Esta espécie apresentou potencial acumulativo de vários metais, apesar de possuir mecanismos bem conhecidos de desintoxicação que poderiam resultar em subrepresentação dos níveis medidos.

As análises de metais nos sedimentos e nos músculos dos caranguejos sugerem que os caranguejos dos manguezais da região da costa amazônica estão sujeitos a poluentes que comprometem a saúde dos organismos e pode trazer riscos a saúde humana, já que é um dos recursos de forte exploração como fonte alimentícia.

Os resultados encontrados no presente estudo são relevantes para os planos de gestão, uma vez que permitem evidenciar e estimular o monitoramento dos impactos ambientais na costa amazônica. Além disso, os resultados aqui apresentados também abrem portas para outros estudos relacionados à avaliação da concentração de metais em diversos órgãos e tecidos de outras espécies de caranguejos e diferentes mariscos que também são utilizados para a alimentação. Por fim, é importante que se direcione novas pesquisas com a utilização de biomarcadores específicos a fim de se obter um diagnóstico da saúde dessa população, antes que os efeitos tóxicos sejam desencadeados, como a intoxicação alimentar através do consumo de recursos alimentares, como o caranguejo-uçá, contaminados por metais nessa região.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, R.R.N. & A.K. Nishida. 2004. Aspectos socioeconômicos e percepção ambiental dos catadores de caranguejo-uçá *Ucides cordatus* (L., 1763) (Decapoda, Brachyura) do estuário do Rio Mamanguape, nordeste do Brasil. *Interciência* 28 (1): 36-43
- Araújo, D.F., Ponzevera, E., Briant, N., Knoery, J., Sireau, T., Mojtahid, M., Metzger, E., Brach-Papa, C., 2019. Assessment of the metal contamination Evolution in the Loire estuary using Cu and Zn stable isotopes and geochemical data in sediments. *Mar. Polut. Bull.* 143, 12-23.
- Assi, M. A., Hezmee, M. N. M., Abd Wahid Haron, M. Y. M., & Sabri, M. A. R. (2016). The detrimental effects of lead on human and animal health. *Veterinary world*, 9(6), 660.

Berrêdo, J. F., Costa, M. L., Vilhena, M. P. S. P., et al. (2008). Mineralogia e geoquímica de sedimentos de manguezais da costa amazônica: o exemplo do estuário do rio Marapanim (Pará). *Revista Brasileira de Geociências*, 38(1), 24–35

Bergeson LL (2008) The proposed lead NAAQS: is consideration of cost in the clean air act's future? *Environ Qual Manag* 18(1):79–84

Bourgeois, C., Alfaro, A. C., Dencer-Brown, A., Duprey, J. L., Desnues, A., & Marchand, C. (2019). Stocks and soil-plant transfer of macro-nutrients and trace metals in temperate New Zealand estuarine mangroves. *Plant and Soil*, 436(1), 565-586.

Bosco-Santos, A., Luiz-Silva, W., Silva-Filho, E. V., Souza, M. D. C., Dantas, E. L., & Navarro, M. S. (2017). Fractionation of rare Earth and other trace elements in crabs, *Ucides cordatus*, from a subtropical mangrove affected by fertilize

Brasil. 1998. Princípios gerais para o estabelecimento de níveis máximos de contaminantes químicos em alimentos. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). Portaria no 685, de 27 de agosto de 1998. Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/685_98.htm. Acessado: 23/11/2021.

Carvalho Neta, R.N.F.; Mota-Andrade, T.S.O.; Oliveira, S.R.S.; Torres-Junior, A.R.; Silva, W.C.; Santos, D.M.S. & Brito, N.M. 2019. Biochemical and morphological responses in *Ucides cordatus* (Crustacea, Decapoda) as indicators of contamination status in mangroves and port areas from northern Brazil. *Environ. Sci. Pollut. R.* doi:10.1007/s11356-019-04849-0

Castro ACL, Correia MMF, Nascimento AR, Piedade-Júnior RN, Gama LRM, Sousa MM, Sousa RCC (2008) Aspectos bioecológicos do caranguejo-uçá (*Ucides cordatus cordatus*, L. 1763) (Decapoda, Brachyura) nos manguezais da ilha de São Luís e litoral oriental do Estado do Maranhão, Brasil. *Amazon Ciên Desenvol* 3:17–36

Chapman, E. Emily V., Göran Dave, and John D. Murimboh. "A review of metal (Pb and Zn) sensitive and pH tolerant bioassay organisms for risk screening of metal-contaminated acidic soils." *Environmental Pollution* 179 (2013): 326-342.

Costa TMM, Pitombo FB, Soares-Gomes A (2014) The population biology of the exploited crab *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) in a southeastern Atlantic Coast mangrove area, Brazil. *Invertebr Repr Dev* 58:259–268

Dhanakumar, S., Solaraj, G., & Mohanraj, R. (2015). Heavy metal partitioning in sediments and bioaccumulation in commercial fish species of three major reservoirs of river Cauvery delta region, India. *Ecotoxicology and environmental safety*, 113, 145-151.

DNPM (2007). Sumário Mineral, Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, MME. www.dnpm.gov.br.

Duarte, L.F.A.; Souza, C.A.; Nobre, C.R.; Pereira, C.D. & Pinheiro, M.A.A. 2016. Multi-level biological responses in *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Brachyura, Ucridae), as indicators of conservation status in mangrove areas from the Western Atlantic. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 133: 176-187.

Duarte, L.F.A., Souza, C.A., Pereira, C.D.S., Pinheiro, M. A. A., 2017. Metal toxicity assessment by sentinel species of mangroves: In situ case study integrating chemical and biomarkers analyses. *Ecotoxicology and environmental safety*, 145, 367-376.

Eyong, B. E. (2008). *Distribution of arsenic and other heavy metals in sediments and their effects on benthic macroinvertebrates in the Gallinas River, San Miguel County, New Mexico* (Doctoral dissertation, New Mexico Highlands University).

Fernandes, M.E.B. 2000. Association of mammals with mangrove forests: a world wide review. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia*, 13:83-108.

Furtado-Junior, F.A.; Abrunhosa, F.; Holanda, C.A.F. & Tavares, M.C.S. 2016. Selectivity curves of the capture of mangrove crab (*Ucides cordatus*) on the northern coast of Brazil using bayesian inference. *Braz. J. Biol.*, vol. 76, (2), pp. 412-419

Harris, R.R. & Santos, M.C.F. 2000. Heavy metal contamination and physiological variability in the Brazilian mangrove crabs *Ucides cordatus* and *Callinectes danae* (Crustacea: Decapoda). *Mar. Bio.*, 137: 691-703

Herz, R. (1991). *Manguezais do Brasil-1988*.

Hogarth, Peter J. *The biology of mangroves and seagrasses*. Oxford University Press, 2015.

Hurlberg, S.H. 1984. Pseudoreplication and design of ecological field experiments. *Ecological Monographs*, 54(2): 187-211.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2019. IBGE - cidades @. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/braganca.html> . Acesso em: 10 de ago. 2020

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2019. IBGE - cidades @. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/viseu.html>. Acesso em: 10 de ago. 2020

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Normais climatológicas do Brasil 1961-1990. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas> Acesso em 22 de ago. 2020.

Jesus, W. B., Andrade, T. S. O. M., Sores, S. H., Pinheiro-Sousa, D. B., Oliveira, S. R. S., Torres, H. S., et al. (2021). Biomarkers and occurrences of heavy metals in sediment and the bioaccumulation of metals in crabs (*Ucides cordatus*) in impacted mangroves on

the Amazon coast, Brazil. *Chemosphere* 271:129444. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.129444

Kristensen, E., Alongi, D.M., 2006. Control by fiddler crabs (*Uca vocans*) and plant roots (*Avicennia marina*) on carbon, iron, and sulfur biogeochemistry in mangrove sediment. *Limnol. Oceanogr.* 51 (4), 1557–1571.

Lacerda, L. D. (1999). Os manguezais do Brasil. *VANNUCCI, M. Os manguezais e nós: uma síntese de percepções. São Paulo: Editora da USP*, 185-196.

Lee, S.Y., Primavera, J.H., Dahdouh-Guebas, F., McKee, K., Bosire, J.O., Cannicci, S., Diele, K., Fromard, F., Koedam, N., Marchand, C., Mendelssohn, I., Mukherjee, N., Record, S., 2014. Ecological role and services of tropical mangrove ecosystems: a reassessment. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 23, 726–743.

Li, X., Zhang, X., Yang, Y., Li, B., Wu, Y., Sun, H., & Yang, Y. (2016). Cadmium accumulation characteristics in turnip landraces from China and assessment of their phytoremediation potential for contaminated soils. *Frontiers in plant science*, 7, 1862.

Morales, G. P., Gutjahr, A. L. N., Freitas Faial, K. D. C., & Carneiro, B. S. (2018). 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*, 190(4), 1-15.

Moreira, F. R., & Moreira, J. C. (2004). Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 15(2), 119-129.

Nagelkerken I, Blaber SJM, Bouillon S, Green P, Haywood M, Kirton LG, et al. The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: a review. *Aquat Bot* 2008;89:155–85.

Ortega P, Santos RA, Lacouth P, Rozas EE, Custódio MR, Zanotto FP (2014) Cytochemical characterization of gill and hepatopancreatic cells of the crab *Ucides cordatus* (Crustacea, Brachyura) validated by cell metal transport. *Iheringia Série Zool* 104:347–354.

Ortega, P., Custódio, M.R., Zanotto, F.P., 2017. Characterization of cadmium transport in hepatopancreatic cells of a mangrove crab *Ucides cordatus*: the role of calcium. *Aquat. Toxicol.*, 92–99 <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2017.04.012>.

Pinheiro, M.A.A., Fiscarelli, A.G., Hattori, G.Y., 2005. Growth of the mangrove crab *Ucides cordatus* (Brachyura, Ocypodidae). *J. Crust. Biol.* 25 (2), 293–301.

Pinheiro, M.A.A., Silva, P.P.G., Duarte, L.F.A., Almeida, A.A., Zanoto, F.F., 2012. Accumulation of six metals in the mangrove crab *Ucides cordatus* (Crustacea: ucididae) and its food source, the red mangrove *Rhizophora mangle* (Angiosperma: rhizophoraceae). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 81, 114–121.

Pinheiro MAA, Duarte LFA, Toledo TR, Adam ML, Torres RA (2013) Habitat monitoring and genotoxicity in *Ucides cordatus* (Crustacea: Ucididae), as tools to manage a mangrove reserve in southeastern Brazil. *Environ Monit Assess* 185:8273–8285.

Pinheiro, M.A.A.; Souza, C.A.; Zanotto, F.P.; Torres, R.A. & Pereira, C.D.S. 2017. The crab *Ucides cordatus* (Malacostraca, Decapoda, Brachyura) and other related taxa as environmental sentinels for assessment and monitoring of tropical mangroves from South America, Cap. 10: p. 212-241. In: Larramendi, M.L. (Ed.). *Ecotoxicology and Genotoxicology Non-traditional Aquatic Models. Issues in Toxicology* n° 33. London: Royal Society of Chemistry (RSC), 538p

Rainbow, P. S., & White, S. L. (1989). Comparative strategies of heavy metal accumulation by crustaceans: zinc, copper and cadmium in a decapod, an amphipod and a barnacle. *Hydrobiologia*, 174(3), 245-262.

Rocha, C. H., & Lima, T. B. (2020). Biometric differences in *Ucides cordatus* (LINNAEUS, 1763)(Crustacea; Brachyura; Ocypodidae) as an indicative of environmental stress. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 11(2), 228-235.

Rubin R, Strayer DS. *Rubins pathology; Clinicopathologic Foundations of Medicine*. 5th ed. Lippincot Williams & Wilkins; 2008. Environmental and Nutritional pathology.

Saha, N., Mollah, M. Z. I., Alam, M. F., & Rahman, M. S. (2016). Seasonal investigation of heavy metals in marine fishes captured from the Bay of Bengal and the implications for human health risk assessment. *Food control*, 70, 110-118.

Santos, L. C. M., Gasalla, M. A., Dahdouh-Guebas, F., & Bitencourt, M. D. (2017). Socio-ecological assessment for environmental planning in coastal fishery areas: a case study in Brazilian mangroves. *Ocean & coastal management*, 138, 60-69.

Schaeffer-Novelli, Y., Cintrdn-Molero, G., Soares, M.L.G., De-Rosa, T., 2000. Brazilian mangroves. *Aquat. Ecosys. Health Manag.* <https://doi.org/10.1080/14634980008650693>.

Souza Filho, P. W. M. (2005). Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23, 427-435.

Vanz, A., Mirlean, N., & Baisch, P. (2003). Avaliação de poluição do ar por chumbo particulado: uma abordagem geoquímica. *Química nova*, 26, 25-29.

Vilhena, M. S., Costa, M. L., & Berredo, J. F. (2013). Accumulation and transfer of Hg, As, Se, and other metals in the sediment-vegetation-crab-human food chain in the coastal zone of the northern Brazilian state of Pará (Amazonia). *Environmental geochemistry and health*, 35(4), 477-494.

Wahid, A., Arshad, M., & Farooq, M. (2009). Cadmium phytotoxicity: responses, mechanisms and mitigation strategies: a review. *Organic Farming, Pest Control and Remediation of Soil Pollutants*, 371-403.

Zhang WJ, Jiang FB, Ou JF. 2011. Global pesticide consumption and pollution: with China as a focus. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, 1(2): 125-144.

Zhang, Y., Lu, X., Wang, N., Xin, M., Geng, S., Jia, J., & Meng, Q. (2016). Heavy metals in aquatic organisms of different trophic levels and their potential human health risk in Bohai Bay, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(17), 17801-17810.

7. ANEXO

ANEXO I. Normas para publicação na revista Acta Amazonica

FORMATO E ESTILO

I. O manuscrito deve ser preparado com editor de texto (por exemplo, doc ou docx), . digitado em fonte "Times New Roman" 12 pontos. Deve ser em espaço duplo com margens de 3 cm; páginas e linhas numeradas consecutivamente. Para tabelas ver Item 8d.

II. Título. Ajuste para a esquerda e coloque em maiúscula a primeira letra da frase. Evite usar nomes científicos.

III. Resumo. Deve ter até 250 palavras (150 para comunicações curtas). Inicie o Resumo com algumas linhas (racional), e depois disso indique claramente os objetivos. O Resumo deve conter de forma sucinta a metodologia, resultados e conclusões, enfatizando aspectos importantes do estudo. Deve ser inteligível por si mesmo. Os nomes científicos das espécies e outros termos latinos devem estar em itálico. Evite siglas, mas se forem necessárias dê seu significado. Não use referências nesta seção.

IV. Palavras-chave. Devem consistir em quatro ou cinco termos. Cada termo de palavra-chave pode consistir em duas ou mais palavras. No entanto, as palavras usadas no título não podem ser repetidas como palavras-chave.

V. Introdução. Esta seção deve enfatizar o objetivo do estudo. Deve transmitir uma visão geral dos estudos anteriores relevantes, bem como indicar claramente os objetivos ou hipóteses a serem testados. Espera-se que esta seção não exceda 35 linhas. Não

antecipe dados ou conclusões do manuscrito e NÃO inclua legendas nesta seção. Finalize a Introdução com os objetivos.

VI. Materiais e Métodos. Esta seção deve conter informações suficientes, organizadas cronologicamente para explicar os procedimentos realizados, de forma que outras pesquisas possam repetir o estudo. Os tratamentos estatísticos dos dados devem ser descritos. As técnicas padrão só precisam ser referenciadas. As unidades de medida e suas abreviaturas devem seguir o Sistema Internacional e, quando necessário, incluir uma lista das abreviaturas utilizadas. Os instrumentos específicos utilizados no estudo devem ser descritos (modelo, fabricante, cidade e país de fabricação, entre parênteses). Por exemplo: "A fotossíntese foi determinada usando um sistema de troca gasosa portátil (Li-6400, Li-Cor, Lincoln, NE, EUA)". O material voucher (amostra para referência futura) deve ser depositado em uma ou mais coleções científicas e informado no manuscrito. NÃO use legendas nesta seção. Use negrito, mas não itálico ou letras maiúsculas para legendas.

VII. Aspectos éticos e legais: Para estudos que requeiram permissões especiais (ex. Comitê de Ética/Comissão Nacional de Ética em Pesquisa-CONEP, IBAMA, SISBIO, CNPq, CNTBio, INCRA/FUNAI, EIA/RIMA, outros) o número de registro/aprovação (e data de publicação) devem ser informados. Os autores são responsáveis por seguir todas as normas específicas sobre este assunto.

VIII. Resultados. Esta seção deve apresentar uma descrição concisa das informações obtidas, com um mínimo de julgamento pessoal. Não repita no texto todos os dados contidos em tabelas e ilustrações. Não apresente as mesmas informações (dados) em tabelas e figuras simultaneamente. Não use legendas nesta seção. O numeral deve ser separado por um espaço das unidades. Por exemplo, 60°C e NÃO 60°C, exceto por porcentagens (por exemplo, 5% e NÃO 5%).

Unidades : Use unidades e símbolos do Sistema Internacional. Use expoentes negativos em vez de barra (/). Por exemplo: cmol kg^{-1} em vez de $\text{meq}/100\text{g}$; ms^{-1} em vez de m/s . Use espaço em vez de ponto entre os símbolos: ms^{-1} em vez de ms^{-1} . Use um traço (NÃO um hífen) para denotar números negativos. Por exemplo: -2, em vez de -2. Use kg em vez de Kg e km em vez de Km.

IX. Discussão. A discussão deve centrar-se nos resultados obtidos. Evite mera especulação. No entanto, hipóteses bem fundamentadas podem ser incorporadas. Apenas referências relevantes devem ser incluídas.

X. Conclusões. Esta seção deve conter uma interpretação concisa dos principais resultados e uma mensagem final, que deve destacar as implicações científicas do estudo. Escreva as conclusões em uma seção separada (um parágrafo).

XI. Os agradecimentos devem ser breves e concisos. Incluir agência de financiamento. NÃO abrevie nomes de instituições.

XII. Referências. Pelo menos 70% das referências devem ser artigos de revistas científicas. As citações devem ser preferencialmente dos últimos 10 anos. Sugere-se não exceder 40 referências. Devem ser citados em ordem alfabética dos nomes dos autores, e devem ser restritos à citação incluída no texto. Se uma referência tiver mais de dez autores, use apenas os seis primeiros nomes e *et. al.* Nesta seção, o título do periódico NÃO é abreviado.