

# RESSALVA

Atendendo a solicitação da  
autora, o texto completo desta  
**Tese de Doutorado**  
será disponibilizado somente  
a partir de **18/07/21**.

Avaliação da concentração de metais no caranguejo-uçá  
(*Ucides cordatus*) na costa amazônica brasileira: Implicações para  
conservação ambiental e saúde pública

**ÁDRIA DE CARVALHO FREITAS**

SÃO VICENTE - SP  
2019

Avaliação da concentração de metais no caranguejo-uçá  
(*Ucides cordatus*) na costa amazônica brasileira: Implicações para  
conservação ambiental e saúde pública

**Autora: Ádria de Carvalho Freitas**

**Orientador: Prof. Dr. Marcelo Antonio Amaro Pinheiro**

**Coorientador: Prof. Dr. Marcus E. Barroncas Fernandes**

Tese apresentada ao Instituto de Biociências, Câmpus do Litoral Paulista, UNESP, para obtenção do título de Doutora no Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade de Ambientes Costeiros.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**


TÍTULO DA TESE: EFEITO TÓXICO E BIOACUMULAÇÃO DE METAIS EM POPULAÇÕES DO CARANGUEJO-UÇÁ, *Ucides cordatus* (LINNAEUS, 1763) (CRUSTACEA, BRACHYURA), NA COSTA AMAZÔNICA BRASILEIRA.

**AUTORA: ÁDRIA DE CARVALHO FREITAS**

**ORIENTADOR: MARCELO ANTONIO AMARO PINHEIRO**

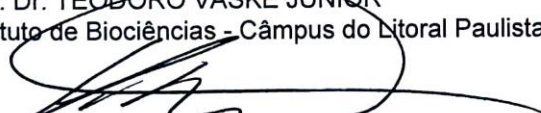
**COORIENTADOR: MARCUS EMANUEL BARRONCAS FERNANDES**


Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em BIODIVERSIDADE DE AMBIENTES COSTEIROS, área: Biodiversidade pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. MARCELO ANTONIO AMARO PINHEIRO  
Instituto de Biociências - Câmpus do Litoral Paulista / UNESP

  
Dr. LUCAS BURUAEM MOREIRA  
UNESP - Núcleo de Estudos em Poluição e Ecotoxicologia Aquática (NEPEA)

  
Prof. Dr. TEODORO VASKE JUNIOR  
Instituto de Biociências - Câmpus do Litoral Paulista / UNESP

  
Prof. Dr. RUBENS CESAR LOPES FIGUEIRA  
Departamento de Oceanografia Física, Química e Geológica / Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo

  
p/ Profa. Dra. LÍLIAN LUND AMADO  
Instituto de Ciências Biológicas / Universidade Federal do Pará  
**~~PARTICIPAÇÃO NÃO PRESENCIAL~~**

São Vicente, 18 de julho de 2019

F866a Freitas, Ádria de Carvalho  
Avaliação da concentração de metais no caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) na costa amazônica brasileira: Implicações para conservação ambiental e saúde pública / Ádria de Carvalho Freitas. -- São Vicente, 2019  
106 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, São Vicente

Orientador: Marcelo Antonio Amaro Pinheiro  
Coorientador: Marcus Emanuel Barroncas Fernandes

1. Avaliação de riscos ambientais. 2. Pescados Contaminação. 3. Bioacumulacao. 4. Avaliação de riscos de saúde. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências, São Vicente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Dedico este trabalho à todas as mulheres cientistas que vieram antes e, com muita luta, construíram o caminho que permitiu-me chegar até aqui.

## **Agradecimentos**

Em primeiro e sempre à Deus por nunca ter me dado desafios que eu não pudesse suportar, problemas que eu não conseguisse resolver e pela fé e gratidão que me movem.

À Capes pela bolsa de doutorado (Processo n. 1512553) e ao CNPq pelo financiamento do projeto de pesquisa (Processo n. 456542/2014-0).

Ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade de Ambientes Costeiros (UNESP IB- CLP) pela oportunidade de aprimoramento acadêmico.

Aos membros da banca pelas valiosas contribuições à tese.

Ao Instituto Evandro Chagas pela parceria nas análises de metais, em especial aos integrantes do Laboratório de Toxicologia III, Kelson Faial e Neuton Trindade por todo apoio técnico, conhecimento repassado, acolhimento e amizade que me foram proporcionados.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Pinheiro por todos os ensinamentos, apoio, oportunidades e paciência com as distâncias. Aprendi e cresci muito nesses 4 anos de convivência.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Marcus Fernandes pelos muitos anos de aprendizado, amizade, incentivo, compreensão e, principalmente, pela confiança depositada em mim.

À minha família, minha mãe Necy, minha irmã Aila e meu sobrinho Dimi, meu irmão Andrio e minha cunhada Anne, meu pai Nezildo, Irá e minha irmã Laís, por me verem muito melhor do que me vejo, depositarem em mim a confiança para todas as horas e por me estimularem a sempre lutar pelo que anseio. Obrigada por vocês existirem!

Às irmãs de alma Akeme Matsunaga e Camila Pimenta, sem as quais eu não teria estrutura pra chegar até o fim. Obrigada pelo apoio intelectual, emocional e incondicional que vocês sempre me deram! “Diante da vastidão do tempo e da imensidão do universo, é um imenso prazer para mim dividir um planeta e uma época com vocês.”

Aos amigos e colegas de trabalho da Secretaria Municipal de Aquicultura e Pesca de Bragança - PA Yuri, Andressa, Josi, Rosivan, Ítalo, Elder, Joelder, Tia Dora, Seu Beraba, Angleivison, em especial aos antigos Secretários Ana Patrícia, Eloy Araújo e ao atual Secretário Danilo Gardunho por toda ajuda, compreensão e apoio ao meu crescimento acadêmico e profissional.

Aos integrantes do Laboratório de Ecologia de Manguezais - LAMA, Indira, Jhon, Dayene, Cida, Emylle, Sanae, Mayara, Tayse e Madson por todos os momentos de

descontração, comilança, colaboração em projetos e companhia diária, em especial, Paulo Cesar, Diego, Darlan, Hudson e Maura pelo apoio nas coletas, análise de dados e elaboração de mapas.

Aos integrantes e ex-integrantes do Grupo de Pesquisa em biologia de crustáceos-CRUSTA, Michel, Juliana, Kim, Ana Laura, Hereman, Márcio, Fernanda e Caio por terem me acolhido da melhor forma possível, em especial, Nicholas e Carol por todo treinamento em biomarcadores e por sempre terem sido solícitos quando precisei.

À todas as amigas que fiz na Unesp.

Aos Professores Flávia Mochel e Leonardo Soares da UFMA por todo apoio logístico durante as coletas no Estado do Maranhão.

Aos Professores Evaldo Martins, Zélia Nunes e Nils Asp da UFPA *campus* Bragança pelo apoio estrutural e laboratorial durante as análises de amostras.

Às Professoras Lilian Lund e Maria da Conceição da UFPA *campus* Belém pelas contribuições intelectuais no desenvolvimento da tese.

À minha equipe de coletas de campo, “A melhor equipe que você rexeita”, Aila, Akeme, Lunna, André, Vinicius, Carol, Bárbara e Seu Messias por todo esforço, dedicação e cuidado que vocês tiveram com meu trabalho, por todo carinho e momentos inesquecíveis.

Aos catadores de caranguejo, barqueiros, líderes comunitários e membros das comunidades dos municípios de Bragança, Viseu, Turiaçú e São Luís que me acolheram, confiaram em minha pesquisa e me acompanharam em todas as minhas “Odisséias” nos manguezais amazônicos. Obrigada pelo carinho, e, acima de tudo, pelas lições de vida!

À todos aqueles que não entendem absolutamente nada (ou quase nada) de manguezal, caranguejo ou qualquer coisa referente à minha pesquisa. Mas, que mesmo assim estiveram presentes nos momentos de diversão, desespero e crescimento pessoal, acadêmico e profissional ao longo desses últimos quatro anos.

À todos os cientistas brasileiros que mesmo em meio a era do anti-intelectualismo, retrocesso e pífio investimento em pesquisas, continuam trabalhando incansavelmente para que sejamos uma sociedade mais desenvolvida, justa e sustentável.

Muito obrigada!

*“Cada pessoa deve trabalhar para o seu aperfeiçoamento e, ao mesmo tempo, participar da responsabilidade coletiva por toda a humanidade.”*

*Marie Curie*

## SUMÁRIO

Lista de Abreviaturas e siglas .....	xi
Lista de Figuras .....	xiii
Lista de Tabelas .....	xiii
RESUMO .....	xiv
<b>Introdução Geral.....</b>	<b>18</b>
<b>Capítulo I - Acúmulo de metais em populações do caranguejo-uçá (<i>Ucides cordatus</i>) na costa amazônica brasileira: Análise do estado de conservação.....</b>	<b>26</b>
1. Introdução.....	27
2. Material e Métodos.....	28
2.1. Área de estudo .....	28
2.2. Coleta de caranguejos e preparo das amostras .....	31
2.3. Amostragem e processamento de folhas de <i>Rhizophora mangle</i> .....	31
2.4. Coleta de Sedimento.....	32
2.5. Amostragem de água .....	32
2.6. Análise da concentração metálica.....	32
2.7. Análise do tempo de retenção de Vermelho Neutro (VN) .....	33
2.8. Fator de bioacumulação (FBA) .....	33
2.9. Análises estatísticas .....	33
2.10. Comparação com os valores de referência para matrizes bióticas e abióticas .....	35
3. Resultados e Discussão.....	35
3.1. Metais em componentes abióticos.....	35
3.1.1. Sedimento .....	35
3.1.2. Água .....	37
3.2. Metais em componentes bióticos.....	41
3.2.1. Vegetação .....	41
3.2.2. Caranguejos .....	44
3.3. Bioacumulação .....	48
3.4. Avaliação do efeito tóxico.....	50
4. Conclusão .....	52
5. Referências bibliográficas .....	53
<b>Capítulo II - Contaminação por metais na carne e outras estruturas edíveis do caranguejo-uçá, <i>Ucides cordatus</i>: Uma questão de saúde pública na Amazônia.....</b>	<b>65</b>
1. Introdução.....	66
2. Material e Métodos.....	68
2.1. Áreas de estudo.....	68
2.2. Coleta de caranguejos e preparo de amostras.....	70
2.3. Análise da concentração metálica.....	70
2.4. Avaliação de risco humano.....	71
2.4.1. Ingestão diária estimada (EDI) .....	73
2.4.2. Quociente de Risco Alvo (THQ) .....	74
2.4.3. Taxas de consumo mensais seguras (CR <sub>mm</sub> ) .....	75
3. Resultados e discussão. ....	76

3.1. Concentração de metais em estruturas comestíveis de <i>U. cordatus</i> .....	76
3.2. Avaliação do risco ao consumo humano .....	81
3.2.1. Ingestão dietética diária (EDI).....	81
3.2.2. Quociente de risco alvo (THQ) .....	84
3.2.3. Consumo mensal permitido ( $CR_{mm}$ ).....	86
4. Considerações finais .....	88
5. Conclusões.....	88
6. Referências bibliográficas .....	89
<b>Conclusão geral</b> .....	102
Apêndices .....	104

### Lista de abreviaturas e siglas

ALUMAR	Consórcio de Alumínio do Maranhão S.A
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APA	Área de Proteção Ambiental
ATSRD	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
CCME	Canadian Council of Ministers of the Environment
CODEX STAN	Codex General Standard For Food Additives
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CR <sub>mm</sub>	Consumption rate as meal for month
DPNM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EDI	Estimated daily intake
EFSA	European Food Safety Authority
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FAMD	Factor Analysis of Mixed
FBA	Fator de Bioacumulação
IARC	Internacional Agency for Research on Cancer
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICP-OES	Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado
IEC	Instituto Evandro Chagas
IOM	Institute of Medicine EUA
JECFA	Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives
ONU	Organização das Nações Unidas
LD	Limites de detecção
LQ	Limites de quantificação
MRC	Material de Referência Certificado
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
OMS	Organização Mundial da Saúde
PCA	Principal Component Analysis
PEL	Probable Effect Levels
PTWI	Provisional Tolerable Weekly Intake
QFA	Questionário de Frequência Alimentar

RAMSAR	Convenção sobre as Zonas Húmidas de Importância Internacional
RESEX	Reserva Extrativista
RDC	Resolução de Diretoria Colegiada
RfD	Referense Dose
RSLI	Recommended Safe Level of Intake
USEPA	United States Environmental Protection Agency
TEL	Threshold Effects Level
THQ	Target Hazard Quotient
VN	Vermelho Neutro
WHO	World Health Organization

## Lista de Figuras

### Capítulo I - Acúmulo de metais em populações do daranguejo-uçá (*Ucides Cordatus*) na costa amazônica brasileira: análise do estado de conservação

Figura 1. Localização das quatro áreas de manguezal em estudo, na Costa Amazônica Brasileira, onde: A= Bragança (BRA); B= Viseu (VIS); C= Turiaçu (TUR); e D= São Luís (SAL).....30

Figura 2. Análise de Componentes Principais (PCA), realizada com a média das concentrações de cinco metais (Cu, Cd, Cr, Mn e Pb) em amostras de água e sedimento, com descrição da primeira e segunda dimensão para a PCA (A); dendrograma da PCA, ilustrando os dois agrupamentos gerados (B); e suas distâncias de similaridade (C) entre as 4 áreas de manguezal analisadas na Região Amazônica (B1 a B9 Bragança; V1 a V9 – Viseu; T1 a T9 – Turiaçu; S1 a S9 – São Luís).....40

Figura 3. Análise de Componentes Principais (PCA) realizada com a média das concentrações de cinco metais (Cu, Cd, Cr, Mn e Pb) em amostras de tecidos/estruturas de *Ucides cordatus*, com descrição da primeira e segunda dimensão para a PCA (A); dendrograma da PCA ilustrando os dois agrupamentos gerados (B) e suas distâncias de similaridade (C) entre as 4 áreas de manguezal analisadas na Região Amazônica (B1 a B9 Bragança; V1 a V9 – Viseu; T1 a T9 – Turiaçu; S1 a S9 – São Luís) .....46

Figura 4. Tempo médio de retenção do vermelho neutro em células (hialinócitos) de exemplares de *U. cordatus* capturados em cada área de manguezal (n=36), nas quatro áreas de manguezal estudadas na Região Amazônica (BRA, Bragança/PA; VIS, Viseu/PA; TUR, Turiaçu/MA; e SAL, São Luís/MA). As barras indicam as médias e as linhas verticais os desvios-padrão. Médias acompanhadas de letras distintas apresentaram diferença estatística a 5% pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).....51

### Capítulo II - Contaminação por metais na carne e outras estruturas edíveis do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus*: uma questão de saúde pública na Amazônia

Figura 1. Localização das quatro áreas de manguezal na Costa Amazônica Brasileira. Cada área compreendeu três subáreas amostrais, totalizando uma malha amostral de 12 pontos, onde: A= Bragança (BRA); B= Viseu (VIS); e D= São Luís (SAL).....69

## Lista de Tabelas

### Capítulo I - Acúmulo de metais em populações do caranguejo-uçá (*Ucides Cordatus*) na costa amazônica brasileira: análise do estado de conservação

Tabela 1. Limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) para os cinco metais avaliados nas estruturas edíveis de *U. cordatus* na região amazônica (em  $\mu\text{g g}^{-1}$ ).....33

Tabela 2. Concentração dos metais Cu, Cd, Cr, Pb e Mn em amostras de sedimento e água para manguezais da região amazônica (x, mediana; s, desvio padrão; LD, limite de detecção; Mín, valores mínimos; Máx, valores máximos; H, ANOVA de Kruskal-Wallis; p, nível de significância estatística). Letras iguais representam ausência de diferença estatística significativa entre as medianas a 5% ( $p < 0,05$ ).....39

Tabela 3. Concentração de metais (Cu, Cr, Pb e Mn) em amostras de *R. mangle* (FV, folhas verdes; e FS, folhas senescentes) para manguezais da região amazônica (x, média; s, desvio padrão; <LD, inferior ao limite de detecção; Mín., valores mínimos; e Máx., valores máximos).....43

Tabela 4. Médias para a concentração de metais (Cu, Mn, Cr, Cd e Pb) em tecidos/estruturas corpóreas do caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*), obtidas nas quatro áreas de manguezal sob análise (BRA, Bragança; VIS, Viseu; TUR, Turiaçu; e SAL, São Luís), em confronto com os limites de concentração máxima permitidos pelas legislações brasileiras em vigor. Obs.: Os valores não conformes são apresentados em negrito.....45

Tabela 5. Correlações de Spearman (r) considerando o tempo de retenção do vermelho neutro (minutos) para o caranguejo-uçá (*U. cordatus*) vs. concentração de cada metal (Cu, Cr, Mn, Pb e Cd) nos compartimentos ambientais estudados (AG, água; SE, sedimento), bem como nos bióticos relacionados à vegetação (FV, folha verde e FS, folhas senescentes de *R. mangle*) e ao caranguejo *U. cordatus* (BR, brânquias; MU, musculatura; e HE, hepatopâncreas). As correlações destacadas em negrito foram significativas ao nível de 5% ( $p < 0,05$ ). Os traços (-) representam as relações que não foram possíveis de analisar devido aos dados estarem abaixo do limite de detecção.....51

### Capítulo II - Contaminação por metais na carne e outras estruturas edíveis do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus*: uma questão de saúde pública na Amazônia

Tabela 1. Limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) para os cinco metais avaliados nas estruturas edíveis de *U. cordatus* na região amazônica.....71

Tabela 2: Concentração média ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) (peso seco) dos cinco metais em estruturas corpóreas do caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*), obtidas em áreas conservadas e antropizadas da região amazônica, em relação aos resultados obtidos para diferentes áreas de manguezal no Brasil.....79

Tabela 3 - Concentração média ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) (peso úmido) para cinco metais em estruturas corpóreas do caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*), obtidas nas quatro áreas de pesquisa, confrontadas com os limites de concentração máxima permitidos pelas legislações em

vigor (valores não conformes são apresentados em negrito).....	81
Tabela 4. Ingestão diária estimada (EDI) de Cu, Cd, Cr, Pb e Mn ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ peso corpóreo $\text{dia}^{-1}$ ) para crianças e adultos nas áreas conservadas e antropizadas da Costa Amazônica Brasileira, utilizando o Método PEI (Percentual da concentração de metais na Estrutura Ingerida). Os valores em negrito representam superioridade de valores em relação às recomendações diárias estabelecidas pela FAO/WHO.....	83
Tabela 5. Quociente de Risco alvo (THQ) de Cu, Cd, Cr, Pb e Mn para adultos e crianças nas áreas conservadas e antropizadas da Costa amazônica brasileira pelo método PEI (Percentual da concentração de metais na Estrutura Ingerida). Onde, <1 representa ausência de risco sistêmico.....	85
Tabela 6. Quociente de Risco alvo (THQ) de Cu, Cd, Cr, Pb e Mn para adultos e crianças nas áreas conservadas e antropizadas da Costa amazônica brasileira pelo método SEI (Somatório da concentração de metais na Estrutura Ingerida). Onde, <1 representa ausência de risco sistêmico.....	86
Tabela 7: Consumo máximo tolerável (refeições $\text{mês}^{-1}$ ) ( $\text{CR}_{\text{mm}}$ ) de estruturas edíveis de <i>U. cordatus</i> calculado pelo método SEI para crianças (refeição = 0,123 Kg) e adultos (refeição = 0,186 Kg) em áreas consideradas conservadas e antropizadas na região amazônica.....	87
Tabela 8: Consumo máximo tolerável de caranguejo-uçá (número de caranguejos $\text{mês}^{-1}$ ) para adultos e crianças de áreas consideradas conservadas e antropizadas na região amazônica.....	87

## RESUMO

Na região Amazônica muitas áreas de manguezal ainda se encontram conservadas. Entretanto, atividades antrópicas de degradação e contaminação, especialmente por metais, começam a alcançar escalas preocupantes, podendo afetar esse ecossistema e seus recursos. O objetivo do presente estudo foi avaliar a contaminação e bioacumulação de metais (Cu, Cd, Cr, Pb e Mn) pelo caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) e o risco potencial para a saúde humana pela ingestão desse crustáceo, considerado um recurso pesqueiro de grande importância na região amazônica. Amostras de espécimes de *U. cordatus*, água, sedimento, e folhas de *Rhizophora mangle* foram coletadas em áreas de manguezais, sendo uma conservada e outra antropizada para ambos os estados do Pará e Maranhão. 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. Para avaliação do risco de consumo humano foram estimados o consumo diário (EDI), o quociente de risco (THQ) e o número de refeições elegíveis por mês (CR<sub>mm</sub>). As concentrações de metais no sedimento estavam abaixo dos níveis estabelecidos pela legislação, diferindo do observado para as amostras de água, onde Cu, Mn e Pb, cujos valores estavam acima dos limites estabelecidos para águas estuarinas. Mesmo sendo em sua maioria de origem natural, observou-se que esses elementos estão biodisponíveis e estão sendo incorporados pela biota. As concentrações de Cu, Cr e Pb estiveram acima dos limites estabelecidos para consumo na carne e brânquias do caranguejo-uçá. Dependendo do nível de exposição da população local, o consumo de *U. cordatus*, pode representar um risco para a saúde humana, especialmente no caso de crianças abaixo de 12 anos. Os maiores THQs foram estimados para o consumo simultâneo de todas as estruturas avaliadas. O cobre foi categorizado pelo menor número de refeições seguras de caranguejos por mês. Assim, conclui-se que a exposição da população amazônica aos caranguejos contaminados com metais deve ser considerada em estudos ambientais e de saúde pública pelo possível risco de efeitos sistêmicos.

Palavras-chave: Manguezal, contaminação, risco de consumo, região amazônica.

## ABSTRACT

In the Amazon region many mangrove areas are still conserved. However, anthropogenic activities that promote degradation and metal contamination are beginning to reach worrying scales and may affect this ecosystem and its resources. The aim of the present study was to evaluate the contamination and bioaccumulation of metals (Cu, Cd, Cr, Pb, and Mn) by the mangrove crab (*Ucides cordatus*) and the potential risk to human health from ingestion of this crustacean, considered a fishing resource of great importance in the Amazon region. Specimens of *U. cordatus*, water, sediment, and leaves of *Rhizophora mangle* were collected from mangrove areas, being a conserved area and another anthropized for both states of Pará and Maranhão. Metallic concentrations in biotic and abiotic samples were quantified by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES), with subsequent estimation of the Bioaccumulation Factor and multilevel analysis for the metals evaluated. To assess the risk of human consumption, daily intake (EDI), risk ratio (THQ) and number of eligible meals per month (CR<sub>mm</sub>) were estimated. Metal concentrations in the sediment were below the levels established by the legislation, differing from those observed for the water samples, where Cu, Mn and Pb, whose values were above the estuarine water limits. Even though, mostly of natural origin, it was observed that those elements are bioavailable and are being incorporated by biota. Concentrations of Cu, Cr, and Pb were above the limits established for consumption meat and gills of the mangrove crab. Depending on the level of exposure of the local population, the consumption of *U. cordatus* may pose a risk to human health, especially for children under 12 years. The highest THQs were estimated for the simultaneous consumption of all evaluated structures. Copper was categorized by the lowest number of safe crab meals per month. Thus, it is concluded that the exposure of the Amazonian population to metal-contaminated crabs should be considered in environmental and public health studies for the possible risk of systemic effects.

Keywords: Mangrove, contamination, risk of consumption, Amazon region.

## Introdução Geral

A região Amazônica é mundialmente famosa por abrigar, simultaneamente, a maior floresta tropical e bacia de água doce do planeta, onde se encontra a mais expressiva megadiversidade, num comparativo com outros ecossistemas brasileiros. Além disso, a zona costeira dessa região detêm, também, o maior contínuo de manguezais de todo o mundo, que se estende desde a Baía de Marajó (PA) até a Ponta de Tubarão, na Baía de São José (MA), compreendendo uma área de 7.423 km<sup>2</sup> (NASCIMENTO *et al.*, 2013). Somados ao estado do Amapá, os manguezais amazônicos correspondem a 80% das áreas desse ecossistema no país (LEÃO *et al.*, 2018a).

Enquadrada no âmbito das regiões tropicais úmidas do planeta, a referida zona se estende do Equador com limites em até cerca de 15° N e S (NITTROUER *et al.*, 1995) onde características geomorfológicas congêneres resultaram no desenvolvimento de unidades biológicas típicas (SZLAFSZTEIN *et al.*, 2000). São áreas com florestas de grande opulência e magnitude (com relatos de árvores com mais de 30 m de altura e 1 m de diâmetro), explicadas pela distribuição regular das chuvas, altas temperaturas ao longo do ano, influência de um regime de macromarés (>4 m) e o suprimento de sedimentos fluviais que atingem a costa (MENDES, 2005; MENEZES & MEHLIG, 2009).

Considerada, também, a maior faixa conservada de manguezal global, esse cinturão contínuo é composto por 16 reservas extrativistas, totalizando 311 mil hectares de área preservada (LEÃO *et al.*, 2018b). Assim, como um dos principais ecossistemas costeiros dessa região, os manguezais detiveram importante papel na história evolutiva das comunidades litorâneas amazônicas, resultando em fonte imprescindível de recursos, provendo o estabelecimento e a sobrevivência dessas comunidades ainda hoje (FERNANDES *et al.*, 2018), por meio de seus recursos naturais passíveis de exploração (SZLAFSZTEIN *et al.*, 2000). E dentre as atividades econômicas praticadas neste ecossistema, a captura do caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) é uma das mais antigas, auxiliando na geração de empregos, renda doméstica e na subsistência dessas comunidades extrativistas litorâneas (NOTTINGHAM *et al.*, 2018).

Esse crustáceo é um dos recursos pesqueiros mais importantes em toda sua área de ocorrência (IVO & GESTEIRA, 1999), especialmente nas regiões Norte e Nordeste do país. Pinheiro *et al.* (2016), apontam, ainda, que a produção do caranguejo-uçá no Brasil, concentra-se, sobretudo, em alguns poucos estados da União, muitas vezes sendo

intensa em áreas específicas, como o Delta do Parnaíba (MA/PI) e a Península Bragantina (PA).

Segundo as mais recentes estatísticas oficiais disponibilizadas, a produção nacional de caranguejo de manguezal foi nos anos de 2010 e 2011 de 8.535 e 8.608 toneladas, respectivamente (BRASIL, 2013). A nível estadual as estatísticas indicam como maiores produtores os estados do Pará (2.748 t), seguido pelo Maranhão (1.198 t), Piauí (814 t) e Amapá (59 t) (IBAMA, 2007). Em razão dessa elevada produção foi instalada em 2014, no município de Bragança (PA), a primeira fábrica de beneficiamento e comercialização de carne de *U. cordatus* do Brasil. Atualmente, constam registradas na Agência de Defesa Agropecuária do Estado do Pará (ADEPARÁ) três indústrias artesanais, que somente em 2016 processaram e comercializaram quase 16 toneladas de carne de caranguejo (ADEPARÁ, 2017). No entanto, a despeito da importância socioeconômica citada, o manejo inadequado dos estoques pesqueiros e a intensa ação predatória humana tem sido além da capacidade de crescimento e recomposição populacional dessa espécie (PINHEIRO *et al.*, 2016). O que pode ocasionar alterações no equilíbrio ambiental dada a influência notória desse crustáceo sobre o processamento da serapilheira e fluxo energético desse ecossistema (KOCH, 1999).

Além da sobrepesca de seus recursos, os manguezais da costa da amazônica estão sujeitos a outros impactos negativos. Atividades predatórias, ainda que insipientes, começam a alcançar escalas progressivas nessas áreas, como a instalação de portos, construção de estradas, entre outras (HAYASHI *et al.*, 2019). Adicionalmente, a região detem um dos piores índices de saneamento do país, com ausência de rede coletora de esgoto para mais de 8 milhões de habitantes (LANDAU & MOURA, 2016). O que incorre no despejo de efluentes sem qualquer tratamento nos rios e estuários e expõe os ecossistemas aquáticos a contaminação ambiental. Entretanto, por serem geralmente associados à ambientes intocados, principalmente pelo reduzido desenvolvimento industrial e urbano da região, a quantificação dos efeitos do impacto antrópico em áreas de manguezal ainda é reduzido na costa amazônica em comparação as demais regiões brasileiras (FERNANDES, 2003), principalmente no que tange a contaminação por agentes tóxicos como os metais.

Os trabalhos referentes à contaminação por metais nessa região, tanto ambiental quanto humana, são em sua maioria relacionados somente ao mercúrio e direcionados, principalmente, ao estudo de populações ribeirinhas e organismos de água doce devido ao impacto histórico deste metal na extração de ouro na Amazônia (AKAGI *et al.*, 1995;

MALM, 1998; HARADA *et al.*, 2001; FADINI & JARDIM, 2001; BASTOS *et al.*, 2006; RABITTO *et al.*, 2011; AZEVEDO *et al.*, 2016; COSTA-JUNIOR *et al.*, 2018). Sendo escassos os trabalhos em regiões costeiras, em especial no ecossistema manguezal e em recursos de importância socioeconômica como o caranguejo-uçá (VILHENA *et al.*, 2003, 2013; SILVA *et al.*, 2018; CARVALHO-NETA *et al.*, 2019).

Tem sido demonstrado que a ingestão de metais tóxicos através do consumo de produtos aquáticos pode representar riscos significativos para a saúde humana (JÄRUP, 2003; DÓREA *et al.*, 2005; GUSSO-CHOUERI *et al.*, 2018). Portanto, informações sobre a bioacumulação de metais essenciais e metais tóxicos em recursos haliêuticos são importantes tanto do ponto de vista ecológico quanto de saúde pública.

Diante do panorama exposto, objetivou-se avaliar o estado de conservação dos manguezais amazônicos utilizando o caranguejo-uçá como espécie bioindicadora. Estudos recentes tem demonstrado, com sucesso, o uso do *U. cordatus* como espécie sentinela da conservação desses ecossistemas em relação a exposição a metais (HARRIS & SANTOS, 2000; PINHEIRO *et al.*, 2012 e 2013; DUARTE *et al.*, 2016, 2017 e 2019; BOSCO-SANTOS *et al.*, 2017; CARVALHO-NETA *et al.*, 2019). Para tal, avaliou-se o grau de contaminação da água, sedimento, folhas de vegetação arbórea (*Rhizophora mangle*) e de tecidos do caranguejo-uçá (*U. cordatus*) por cinco metais (Cd, Cu, Pb, Cr e Mn), em quatro áreas de manguezal na costa amazônica. Concomitantemente, foi realizada análise de impacto citotóxico sobre as populações do caranguejo-uçá e estimado o risco de consumo humano desse crustáceo.

Para apresentação dos resultados obtidos na presente pesquisa, a tese encontra-se organizada em 02 (dois) capítulos em formatação de artigos científicos. O Capítulo I trata da avaliação da concentração de metais nos componentes abióticos e bióticos dos manguezais amazônicos, nas reentrâncias dos estados do Pará e Maranhão e suas implicações para conservação ambiental. Nossa hipótese foi que, apesar de considerados prístinos, os manguezais amazônicos podem apresentar contaminação por metais. O Capítulo II, discorre acerca da avaliação do risco potencial de metais para a saúde humana, causado por ingestão da carne e outras estruturas comestíveis do caranguejo-uçá. Nossa hipótese é que o consumo de *U. cordatus* provenientes de alguns locais mais impactados, mesmo na Região Amazônica, pode representar risco à saúde humana.

## Referências Bibliográficas

ADEPARÁ - Agência de Defesa Agropecuária do Estado do Pará. 2017. Empresas produzem quase 16 mil kg de carne de caranguejo em 2016. Disponível em: <http://www.adepara.pa.gov.br/artigos/empresas-produzem-quase-16-mil-kg-de-carne-de-caranguejo-em-2016>. Acessado: 03/12/2017.

Akagi, H.; Malm, O.; Kinjo, Y.; Harada, M.; Branches, F.J.P., Pfeiffer, W.C. & Kato, H. 1995. Methylmercury pollution in the Amazon, Brazil. *Sci. Total Environ.*, 175(2), 85–95. doi:10.1016/0048-9697(95)04905-3.

Azevedo-Silva, C.E.; Almeida, R.; Carvalho, D.P.; Ometto, J.P.H.B.; de Camargo, P.B.; Dorneles, P.R., & Torres, J.P.M. 2016. Mercury biomagnification and the trophic structure of the ichthyofauna from a remote lake in the Brazilian Amazon. *Environ. Res.*, 151, 286–296. doi:10.1016/j.envres.2016.07.035.

Bastos, W.R.; Gomes, J.P.O.; Oliveira, R.C.; Almeida, R.; Nascimento, E.L.; Bernardi, J.V.E. & Pfeiffer, W.C. 2006. Mercury in the environment and riverside population in the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. *Sci. Total Environ.*, 368(1), 344–351. doi:10.1016/j.scitotenv.2005.09.048.

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 fertilizer industry. *J. Environ. Sci.*, 54: 69-76.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura – MPA. 2013. **Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura: Brasil 2011**. Brasília: Ministério da Pesca e Aquicultura. Disponível em: [http://www.mpa.gov.br/images/Docs/Informacoes\\_e\\_Estatisticas/Boletim%20MPA%202011FINAL3.pdf](http://www.mpa.gov.br/images/Docs/Informacoes_e_Estatisticas/Boletim%20MPA%202011FINAL3.pdf). Acessado: 02/02/2018.

Carvalho-Neta, R.N.F.; Torres-Júnior, A.R. & Abreu-Silva, A.L. 2012. Biomarcadores em bagres *Sciades herzbergii* (Teleostei: Ariidae) de áreas poluídas e não poluídas (baía de São Marcos, nordeste do Brasil). *Appl. Biochem. Biotech.*, 166: 1-12.

Costa-Junior, J.M.F.; Silva, C.I.M.; Lima, A. A.S.; Rodrigues Júnior, D.; Silveira, L. C. de L.; Souza, G.S.; & Pinheiro, M. da C. N. 2018. Teores de mercúrio em cabelo e consumo de pescado de comunidades ribeirinhas na Amazônia brasileira, região do Tapajós. *Ciência & Saúde Coletiva*, 23(3), 805–812. doi:10.1590/1413-81232018233.09492016.

Dórea, J.G., Souza J.R., Rodrigues P., Ferrai I., and Barbosa A.C. 2005. Hair mercury (signature of fish consumption) and cardiovascular risk in Mundurucu and Kayabi Indians of Amazonia. *Environ Res.* 97: 209–219.

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, Ucididae) as indicators of conservation status in mangrove areas from the western Atlantic. *Ecotox. Environ. Safe.*, 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. *Ecotox. Environ. Safe.*, 145: 367–376.

Duarte, L.F.A, Moreno, J. B., Catharino, M. G. M., Moreira, E. G., Trombini, C., & Pereira, C. D. S. 2019. Mangrove metal pollution induces biological tolerance to Cd on a crab sentinel species subpopulation. *Sci. Total Environ.* 687: 768–779 doi:10.1016/j.scitotenv.2019.06.039

Fadini, P. & Jardim, W. 2001. Is the Negro River Basin (Amazon) impacted by naturally occurring mercury? *Sci. Total Environ.*, 275(1-3), 71–82. doi:10.1016/s0048-9697(00)00855-x

Fernandes M.E.B., Oliveira F.P., Eyzaguirre I.A.L. 2018. Mangroves on the Brazilian Amazon Coast: Uses and Rehabilitation. In: Makowski C., Finkl C. (eds) Threats to Mangrove Forests. *Coastal Research Library*, vol 25. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-73016-5\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-319-73016-5_29).

Fernandes, M.E.B. 2003. **Os Manguezais da Costa Norte Brasileira**. São Luís: Fundação Rio Bacanga. 1ª Edição, 142p.

Gusso-Choueri, P. K.; Araújo, G. S. de; Cruz, A. C. F.; Stremel, T. R. de O.; Campos, S. X. de; Abessa, D. M. de S. & Choueri, R. B. 2018. Metals and arsenic in fish from a Ramsar site under past and present human pressures: Consumption risk factors to the local population. *Sci. Total Environ.*, 628-629, 621–630. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.02.005

Harada, M., Nakanishi, J., Yasoda, E., Pinheiro, M. da C. N., Oikawa, T., de Assis Guimarães, G. & Ohno, H. 2001. Mercury pollution in the Tapajos River basin, Amazon. *Environ. Int.*, 27(4), 285–290. doi:10.1016/s0160-4120(01)00059-9

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.

Hayashi, S.N.; Souza-Filho, P.W.M.; Nascimento, W.R Jr, Fernandes, M.E.B. 2019. The effect of anthropogenic drivers on spatial patterns of mangrove land use on the Amazon coast. *PLoS ONE* 14(6): e0217754. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217754>.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. 2007. **Estatística da pesca 2007: Brasil Grandes Regiões e Unidades da Federação**. Brasília: IBAMA. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/estatisticadepescadigital.pdf>. Acessado: 25/10/2018.

Ivo, C. T. C. & Gesteira, T. C. V. 1999. Sinopse das observações do Caranguejo uçá, *Ucides cordatus cordatus* (Linnaeus, 1763) capturado em estuários de sua ocorrência no Brasil. *Boletim Técnico Científico do CEPENE*, 7: 9-51.

Järup, L. 2003. Hazards of heavy metal contamination. *Br. Med. Bull.*, 68(1), 167–182. doi:10.1093/bmb/ldg032

KOCH, V.1999. **Epibenthic production and energy flow in the Caeté mangrove**

**estuary, North Brazil.** ZMT Contribution 6, Bremen, 97p.

Landau, E.C. & Moura, L. 2016. **Variação geográfica do saneamento básico no Brasil em 2010: domicílios urbanos e rurais.** Editoras técnicas. – Brasília, DF: Embrapa. 975p. ISBN 978-85-7035-672-7.

Leão, A.R.; Prates, A.P.L.; Fumi, M. 2018. Manguezal e as unidades de conservação. *In:* Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (org.). **Atlas dos Manguezais do Brasil.** Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 176 p.: il ISBN 978-85-61842-75-8.

Leão, A.R.; Cruz, A.T.; Oliveira, D.A.S; Fumi, M. 2018. Incentivo à conservação e ao uso sustentável do manguezal: O Projeto Manguezais do Brasil. *In:* Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (org.). **Atlas dos Manguezais do Brasil.** Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 176 p.: il ISBN 978-85-61842-75-8.

Malm, O. 1998. Gold Mining as a Source of Mercury Exposure in the Brazilian Amazon. *Environ. Res.*, 77(2), 73–78. doi:10.1006/enrs.1998.3828

Mendes, A.C. 2005. Geomorfologia e Sedimentologia. *In:* Fernandes, M.E.B. (Org.). **Os Manguezais da Costa Norte Brasileira.** Maranhão: Fundação Rio Bacanga, p. 1ª Edição, 13- 32.

Menezes, M.P.M. & Mehlig, U. 2009. Manguezais: As Florestas da Amazônia Costeira. *Ciência Hoje*, 44(264):34-39.

Nittrouer, C.A.; Kuehl, S.A.; Sternberg, R.W.; Figueiredo Júnior, A.G. & Faria Júnior, L.E.C. 1995. An introduction to the geological significance of sediment transport and accumulation on the Amazon continental shelf. *Mar. Geol.* 125(3-4): 177-192.

Nottingham, M.C.; Messias, L. T.; Vita, B. 2018. Diagnóstico socioeconômico em unidades de conservação de uso sustentável. *In:* Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (org.). **Atlas dos Manguezais do Brasil.** Brasília: Instituto Chico

Mendes de Conservação da Biodiversidade. 176 p.: il ISBN 978-85-61842-75-8.

Pinheiro, M.A.A.; Silva, P.P.G.; Duarte, L.F.A.; Almeida, A.A. & Zanotto, F.P. 2012. Accumulation of six metals in the mangrove crab *Ucides cordatus* (Crustacea, Ucididae) and its food source, the red mangrove *Rhizophora mangle* (Angiosperma: Rhizophoraceae). *Ecotox. Environ. Safe.*, 81: 114-121.

Pinheiro, M.A.A.; Santos, L.C.M.; Souza, C.A.; João, M.C.A.; Dias-Neto, J. & Ivo, C. T. C. 2016. Avaliação do Caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Decapoda: Ucididae). Cap. 33: p. 441-458. *In*: Pinheiro, M. & Boos, H. (Org.). **Livro Vermelho dos Crustáceos do Brasil: Avaliação 2010-2014**. Porto Alegre, RS, Sociedade Brasileira de Carcinologia - SBC, 466 p.

Rabitto, I.S.; Bastos, W. R.; Almeida, R.; Anjos, A.; Holanda, Í. B. B., Galvão, R. C. F. & Oliveira Ribeiro, C. A. 2011. Mercury and DDT exposure risk to fish-eating human populations in Amazon. *Environ. Int.* 37(1), 56–65.doi:10.1016/j.envint.2010.07.001.

Silva, B. M.S.; Morales, G. P.; Gutjahr, A. L. N.; Faial, K. C.F. & 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. *Environ. Monit. Assess.*, 190(4).doi:10.1007/s10661-018-6570-1.

Szlafsztein, C.; Lara, R. J. & Cohen, M.C.L. 2000. Coastal Management: some studies of the past and present of the Bragança region (Pará, Brazil). The MADAM Project. *J. Int. Environ. Creation* 2, 132-139.

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

## Conclusão geral

As amostras de componentes ambientais (sedimento e água), vegetação e tecidos corpóreos do caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) (hepatopâncreas, brânquias e musculatura) demonstraram que, apesar de considerados prístinos, especialmente pela inexistência de grandes indústrias e pela preservação paisagística, os manguezais da Costa Amazônica brasileira apresentam grandes concentrações e até mesmo contaminação com os metais avaliados para algumas áreas. A análise sedimentar não apresentou inconformidade com os valores recomendados, mostrando que a grande contribuição metálica dessa matriz é autóctone, provavelmente sob influência da Formação Barreiras. Entretanto a presença de elementos metálicos nas amostras de água em valores acima do estabelecido pela legislação mostram-se preocupantes, pois, geralmente, demonstra associação com contaminação atual. O que para a região estudada pode estar atrelado ao baixo índice sanitário e despejo direto de esgoto doméstico em rios e estuários.

Foi constatada a bioacumulação de metais nas áreas costeiras avaliadas transferida diretamente por via aquosa ou no sentido água-vegetação-caranguejo. Entre as estruturas do caranguejo-uçá analisadas, brânquia e musculatura apresentaram os maiores fatores de bioacumulação e por conseguinte as maiores concentrações de metais. Cobre foi o metal de maior acúmulo nas brânquias e demonstrou uma correlação negativa com o tempo de retenção da membrana lisossomal, relação também observada com o sedimento para este mesmo metal. O município de Viseu, considerado área antropizada, apresentou valores médios de tempo de retenção semelhante às áreas consideradas conservadas, o que pode ser um indicativo de maior tolerância dos indivíduos dessas áreas.

Devido à importância comercial e pesqueira do *Ucides cordatus* para as populações da região amazônica, os valores de Pb e Cr acima dos limites estabelecidos pela ANVISA encontrados na carne desse crustáceo, configuram, não apenas, em motivo de preocupação ambiental, mas também, econômica e de saúde pública.

A partir das análises de risco ao consumo humano, a presente tese demonstrou que as concentrações de Cu, Cd, Cr e Pb podem representar riscos à saúde humana na Região Amazônica, dependendo da ingestão simultânea ou não das estruturas edíveis de *U. cordatus*, da quantidade (refeições) e frequência de consumo (número de dias por ano) e da faixa etária, pois crianças são mais suscetíveis à contaminação. As estimativas do quociente de risco alvo indicaram que a ingestão concomitante de músculo, brânquias e hepatopâncreas incorre em maior risco à população, especialmente quando brânquias são ingeridas, visto os maiores

níveis dos metais avaliados terem sido observados nessas estruturas.

Os riscos de exposição da população amazônica que vive dos manguezais aos contaminantes metálicos e outros ainda são negligenciados. É necessário, portanto, que tais avaliações passem a compor estudos ambientais a fim de auxiliar na gestão das áreas de proteção ambiental do Sítio RAMSAR da Amazônia. Recomenda-se que mais estudos que incluam outras vias de exposição, espécies e metais não avaliados sejam realizados para que se possa inferir com maior precisão sobre a ingestão de alimentos oriundos dos manguezais dessa região. Espera-se, também, que os resultados atuais forneçam informações que serão úteis para a proteção da população e que contribuam com o escasso conhecimento sobre este tema na região.

# Apêndices

Apêndice A – Resultados das correlações de Spearman estabelecidas entres os dados de matrizes bióticas e abióticas.

	CuSE	CuAG	CuRmV	CuRmS	CuBR	CuHE	CuMU	CuCA
CuSE	1.00							
CuAG	0.13	1.00						
CuRmV	-0.08	0.08	1.00					
CuRmS	0.12	-0.33	0.12	1.00				
CuBR	0.85	-0.01	-0.22	0.05	1.00			
CuHE	0.14	0.37	0.37	0.22	-0.10	1.00		
CuMU	0.48	0.22	-0.22	0.18	<b>0.76</b>	0.05	1.00	
CuCA	0.74	0.44	-0.10	-0.30	<b>0.71</b>	0.15	0.50	1.00
CdSE	0.18	-0.17	0.19	0.14	0.34	0.29	0.51	0.08
CdAG	0.12	0.58	-0.27	-0.18	0.12	0.15	0.22	0.35
CdBR	-0.41	0.16	0.25	-0.03	-0.68	0.52	-0.50	-0.20
CdHE	-0.17	0.13	0.58	-0.04	-0.31	0.38	-0.29	-0.34
CdMU	0.30	0.42	0.44	-0.07	-0.08	0.42	-0.14	0.37
CdCA	-0.14	-0.23	0.37	-0.06	-0.04	0.24	-0.01	0.14
CrSE	<b>0.74</b>	0.09	0.09	0.00	<b>0.73</b>	0.39	0.58	0.58
CrAG	-0.10	0.17	-0.44	-0.64	0.01	-0.05	0.10	0.13
CrRmV	0.10	0.31	-0.65	-0.15	0.09	0.09	0.24	0.26
CrRmS	-0.28	-0.16	0.16	0.21	-0.40	-0.31	-0.39	-0.31
CrBR	-0.32	-0.12	0.36	0.28	-0.33	0.40	0.06	-0.32
CrHE	0.15	-0.02	0.55	0.37	0.08	0.04	0.14	-0.12
CrCA	-0.52	-0.30	0.23	0.15	-0.25	-0.11	0.03	-0.20
PbSE	0.40	-0.03	0.22	0.39	0.09	0.60	0.08	0.24
PbAG	-0.30	<b>-0.85</b>	0.14	0.11	-0.12	-0.21	-0.31	-0.51
PbRmV	-0.03	0.62	0.43	0.04	-0.29	0.65	-0.05	-0.11
PbRmS	0.22	0.29	-0.02	-0.57	0.27	0.26	0.27	0.55
PbBR	-0.22	0.02	0.24	-0.16	-0.44	0.16	-0.54	-0.28
PbMU	0.21	-0.53	-0.20	0.72	0.13	0.20	0.13	-0.10
PbCA	-0.06	0.25	0.48	-0.09	-0.07	0.01	-0.09	-0.23
MnSE	0.69	0.54	0.00	-0.20	<b>0.73</b>	0.16	<b>0.74</b>	<b>0.83</b>
MnAG	0.19	0.43	0.20	0.11	0.29	0.65	0.66	0.41
MnRmV	0.05	-0.06	0.35	0.37	0.06	-0.07	0.27	0.04
MnRmS	0.01	-0.38	0.20	<b>0.72</b>	-0.07	-0.12	0.05	-0.32
MnBR	0.24	0.51	0.13	0.34	0.17	0.68	0.57	0.31
MnHE	0.41	0.37	0.01	0.20	0.51	0.43	<b>0.76</b>	0.58
MnMU	0.10	0.19	0.18	-0.11	0.38	0.35	0.56	0.29
MnCA	0.50	0.56	0.17	0.06	0.55	0.50	0.66	<b>0.72</b>
VN	-0.64	0.16	0.65	0.05	-0.74	0.34	-0.47	-0.37

Apêndice A – Resultados das correlações de Spearman estabelecidas entres os dados de matrizes bióticas e abióticas (cont.).

	CdAG	CdBR	CdHE	CdMU	CdCA	CrSE	CrAG	CrRmV	CrRmS
CdAG	1.00								
CdBR	-0.01	1.00							
CdHE	0.09	0.25	1.00						
CdMU	0.05	0.43	0.32	1.00					
CdCA	0.14	0.29	0.08	0.13	1.00				
CrSE	-0.20	-0.30	-0.08	0.24	0.02	1.00			
CrAG	-0.09	0.03	-0.03	0.06	-0.24	0.22	1.00		
CrRmV	-0.02	0.14	-0.55	-0.08	-0.50	0.19	0.58	1.00	
CrRmS	0.19	0.07	0.15	0.27	0.23	-0.60	-0.41	-0.57	1.00
CrBR	-0.56	0.53	0.16	0.24	0.14	0.17	0.16	0.15	-0.20
CrHE	-0.49	0.01	0.36	0.27	-0.28	0.18	-0.20	-0.17	-0.11
CrCA	-0.06	0.03	-0.03	-0.13	0.58	-0.36	-0.15	-0.37	0.40
PbSE	-0.22	0.48	0.05	0.67	0.22	0.48	-0.04	0.14	-0.04
PbAG	-0.66	-0.04	0.12	-0.49	0.20	-0.08	-0.03	-0.29	-0.15
PbRmV	0.36	0.30	<b>0.71</b>	0.50	-0.06	0.08	-0.03	-0.19	0.11
PbRmS	-0.02	-0.04	-0.16	0.33	0.27	0.62	0.62	0.27	-0.35
PbBR	0.13	0.20	0.69	0.44	0.09	-0.28	0.15	-0.43	0.54
PbMU	-0.45	0.09	-0.34	0.03	-0.01	0.26	-0.11	0.25	-0.01
PbCA	0.32	-0.16	0.61	-0.07	0.02	-0.13	-0.40	-0.63	0.16
MnSE	0.22	-0.40	-0.25	0.34	-0.03	<b>0.75</b>	0.20	0.24	-0.36
MnAG	0.16	0.01	0.04	0.24	0.26	0.57	0.18	0.18	-0.37
MnRmV	-0.39	0.14	0.00	0.39	0.01	0.07	-0.12	-0.04	0.14
MnRmS	-0.56	0.06	-0.03	0.18	-0.22	-0.05	-0.29	-0.06	0.27
MnBR	0.42	0.22	0.16	0.45	0.20	0.36	-0.04	0.12	-0.05
MnHE	0.25	-0.26	-0.29	0.18	0.24	0.60	0.01	0.18	-0.21
MnMU	0.22	-0.27	-0.03	-0.29	0.43	0.48	-0.04	-0.11	-0.47
MnCA	0.35	-0.23	-0.10	0.22	0.15	0.59	-0.06	0.13	-0.37
VN	-0.10	0.50	0.38	0.32	0.35	-0.41	-0.20	-0.37	0.41

Apêndice A – Resultados das correlações de Spearman estabelecidas entres os dados de matrizes bióticas e abióticas (cont.).

	CrBR	CrHE	CrCA	PbSE	PbAG	PbRmV	PbRmS	PbBR	PbMU
CrBR	1.00								
CrHE	0.50	1.00							
CrCA	0.22	-0.05	1.00						
PbSE	0.55	0.27	-0.16	1.00					
PbAG	0.24	0.16	0.28	-0.13	1.00				
PbRmV	0.17	0.14	-0.23	0.22	-0.49	1.00			
PbRmS	0.12	-0.32	0.00	0.22	-0.23	0.08	1.00		
PbBR	-0.10	-0.09	0.15	0.04	0.01	0.49	0.03	1.00	
PbMU	0.43	0.14	0.08	0.66	0.25	-0.28	-0.10	-0.17	1.00
PbCA	-0.29	0.14	-0.20	-0.40	-0.09	0.53	-0.29	0.19	-0.67
MnSE	-0.10	0.08	-0.22	0.20	-0.59	0.12	0.63	-0.33	-0.12
MnAG	0.40	0.08	0.25	0.35	-0.33	0.38	0.57	-0.12	0.13
MnRmV	0.60	<b>0.78</b>	0.30	0.42	-0.01	-0.09	-0.15	-0.17	0.33
MnRmS	0.54	<b>0.71</b>	0.18	0.43	0.20	-0.13	-0.45	-0.08	0.65
MnBR	0.36	0.12	0.06	0.55	-0.59	0.59	0.24	-0.01	0.21
MnHE	0.10	-0.10	0.21	0.30	-0.47	0.18	0.55	-0.27	0.21
MnMU	0.01	-0.22	0.18	-0.15	-0.02	0.13	0.45	-0.36	-0.24
MnCA	-0.06	0.04	0.07	0.17	-0.49	0.26	0.45	-0.25	-0.06
VN	0.38	0.08	0.57	0.03	0.01	0.42	0.01	0.46	-0.15

Apêndice A – Resultados das correlações de Spearman estabelecidas entres os dados de matrizes bióticas e abióticas (cont.).

	PbCA	MnSE	MnAG	MnRmV	MnRmS	MnBR	MnHE	MnMU	MnCA	VN
PbCA	1.00									
MnSE	-0.05	1.00								
MnAG	-0.16	0.62	1.00							
MnRmV	-0.26	0.16	0.20	1.00						
MnRmS	-0.29	-0.18	-0.07	<b>0.81</b>	1.00					
MnBR	-0.03	0.49	<b>0.80</b>	0.29	0.10	1.00				
MnHE	-0.21	<b>0.76</b>	<b>0.88</b>	0.13	-0.07	<b>0.73</b>	1.00			
MnMU	0.28	0.47	0.66	-0.28	-0.50	0.34	0.64	1.00		
MnCA	-0.02	<b>0.79</b>	0.83	0.07	-0.22	0.64	<b>0.87</b>	0.65	1.00	
VN	0.13	-0.33	0.20	0.15	0.09	0.13	0.00	0.01	0.01	1.00