

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE VETERINÁRIA**

**CONCENTRAÇÃO DE Fe, Zn, Al e Cd em REPRODUTORES DE
Macrobrachium amazonicum NA REGIÃO DA FOZ DO RIO AMAZONAS
AMAPÁ-AP BRASIL**

TAINÁRA CUNHA GEMAQUE

**Belo Horizonte
2024**

TAINÁRA CUNHA GEMAQUE

**CONCENTRAÇÃO DE Fe, Zn, Al e Cd em REPRODUTORES DE
Macrobrachium amazonicum NA REGIÃO DA FOZ DO RIO AMAZONAS
AMAPÁ-AP BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Zootecnia da Universidade Federal de Minas
Gerais como requisito para obtenção do título de
doutora.

Área de Concentração: Produção Animal

Orientador: Prof. Dr. Kleber Campos Miranda Filho

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Pereira da Costa

Coorientador: Prof. Dr. Jô de Farias Lima

Belo Horizonte

2024

(Ficha catalográfica)

G322c Gemaque, Tainára Cunha, 1993-
Concentração de Fe, Zn, Al e Cd em reprodutores de *Macrobrachium amazonicum* na região da Foz do Rio Amazonas Amapá – AP Brasil/ Tainára Cunha Gemaque. -2024.
100 f.:il

Orientador: Kleber Campos Miranda Filho

Coorientadores: Daniel Pereira da Costa

Jô de Freitas Lima

Tese (Doutorado) apresentado à Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para obtenção do grau de Doutora em Produção Animal

Bibliografias: f.: 93 -100.

1. Camarão - Nutrição - Teses - 2. Aquicultura - Teses - I. Miranda Filho, Kleber Campos - II. Costa, Daniel Pereira da – III. Lima, Jô de Freitas – IV. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária – V. Título.

CDD – 636.08

Bibliotecária responsável Cristiane Patrícia Gomes – CRB2569

Biblioteca da Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais

Ata de defesa



Escola de Veterinária
UFMG

ESCOLA DE VETERINÁRIA DA UFMG
COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA
Av. Antônio Carlos 6627 - CP 567 - CEP 30123-970 - Belo Horizonte- MG
TELEFONE (31)-3409-2173

www.vet.ufmg.br/academicos/pos-graduacao
E-mail: cpzootec@vet.ufmg.br

ATA DE DEFESA DE TESE DA ALUNA TAINARA CUNHA GEMAQUE

Às 14:00 horas do dia 28 de fevereiro de 2024, reuniu-se, a Comissão Examinadora de Tese, aprovada por Ad referendum no dia 21/02/2024, para julgar, em exame final, a defesa da tese intitulada: **CONCENTRAÇÃO DE Fe, Zn, Al e Cd em REPRODUTORES DE *Macrobrachium amazonicum* NA REGIÃO DA FOZ DO RIO AMAZONAS AMAPÁ-AP BRASIL**, como requisito final para a obtenção do Grau de **Doutor em Zootecnia, área de concentração Produção Animal**.

Abrendo a sessão, o Presidente da Comissão, Prof. **Kleber Campos Miranda Filho**, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares da Defesa de Tese, passou a palavra ao (a) candidato (a), para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do candidato (a). Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento da tese, tendo sido atribuídas as seguintes indicações:

	Aprovada	Reprovada
Prof.(a)/Dr.(a) Nicoli Paganoti de Mello Correia	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof. /Dr. Giovanni Resende de Oliveira	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) Daniela Chemim de Melo Hoyos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof./Dr. Galileu Crovatto Veras	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof./Dr. Kleber Campos Miranda Filho	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Pelas indicações, o (a) candidato (a) foi considerado (a): Aprovado (a)

Reprovado (a)

Para concluir o Doutorado, o(a) candidato(a) deverá entregar 03 volumes encadernados da versão final da tese acatando, se houver, as modificações sugeridas pela banca, e a comprovação de submissão de pelo menos um artigo científico em periódico recomendado pelo Colegiado dos Cursos. Para tanto terá o prazo máximo de 60 dias a contar da data defesa.

O resultado final, foi comunicado publicamente ao (a) candidato (a) pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ata, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora e encaminhada juntamente com um exemplar da tese apresentada para defesa.

Belo Horizonte, 28 de fevereiro de 2024.

Assinatura dos membros da banca:

Documento assinado digitalmente
gov.br DANIELA CHEMIM DE MELO HOYOS
Data: 29/02/2024 12:27:13-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Documento assinado digitalmente
gov.br GALILEU CROVATTO VERAS
Data: 29/02/2024 14:08:41-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Documento assinado digitalmente
gov.br NICOLI PAGANOTI DE MELLO CORREIA
Data: 06/03/2024 16:40:02-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Documento assinado digitalmente
gov.br GIOVANNI RESENDE DE OLIVEIRA
Data: 06/03/2024 08:40:26-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Documento assinado digitalmente
gov.br KLEBER CAMPOS MIRANDA FILHO
Data: 29/02/2024 11:56:24-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE VETERINÁRIA
COLEGIADO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

**CONCENTRAÇÃO DE Fe, Zn, Al e Cd em REPRODUTORES DE
Macrobrachium amazonicum NA REGIÃO DA FOZ DO RIO AMAZONAS
AMAPÁ-AP BRASIL**

Tainára Cunha Gemaque

Tese de Doutorado defendida e aprovada, no dia vinte e oito de fevereiro de dois mil e vinte e quatro, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Minas Gerais, constituída pelos seguintes professores:

Prof. Dr. Giovanni Resende de Oliveira
EPAMIG– MG

Prof^a. Dr^a. Nicoli Paganoti de Mello Correia
Prevet Sanidade Aquícola- SP

Prof. Dr. Galileu Crovatto Veras
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof^a. Dr^a. Daniela Chemim de Melo Hoyos
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. Kleber Campos Miranda Filho
Universidade Federal de Minas Gerais
Orientador

Belo Horizonte, 28/02/2024.

Dedico

A **Deus**, que com sua infinita sabedoria foi um verdadeiro guia nessa minha “jornada”.

Aos meus pais Tadeu e Júlia, por serem base e me ensinarem a voar em busca dos meus sonhos.

A minha amada avó Maria Pinheiro, por todo seu amor, orações e por sempre acreditar em meus sonhos, amo você de todo o meu coração.

A Nicoli, por toda amizade e companheirismo.

A Margarida Pereira, por todo cuidado e carinho fazendo os dias frios serem quentinhos.

A minha tia Edna por todo seu carinho e acolhimento.

As minha tias Carla e Lucila, por todo apoio, incentivo e inspiração para buscar evoluir a cada dia.

A minha irmã Juliete.

Ao meu querido tio Pedro Pinheiro e Adenilda Rabelo, por toda colaboração e carinho.

A minha querida prima Joseane, que mesmo distante fisicamente ainda assim se faz presente.

Aos meus amados Fernando, Leticia e Lúcia por serem base, motivadores e acreditarem em meus sonhos.

Ao meu querido primo Ivanilson Gemaque, pelo apoio e amizade.

Ao meu querido Daniel por todo companheirismo incansável e apoio incondicional.

Ao meu filho Théo Gemaque, por ser luz da minha vida e minha força diária.

Todos estes citados acima, foram contribuintes fundamentais neste doutorado, muito obrigada.

Agradecimentos

A Deus.

Agradeço ao meu orientador pelo apoio constante, por acreditar sempre no meu trabalho, por todo acolhimento, empatia e pela liberdade que sempre nos dá para fazer nossas escolhas.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Jô de Farias Lima pelo apoio e auxílio com os experimentos e acolhimento.

Ao co-orientador Prof. Dr. Daniel Costa pelo apoio e parceria.

A Embrapa – Amapá e todos seus colaboradores em especial ao pesquisador Dr. Jô de Farias Lima e ao Leandro Damasceno que foram grandes parceiros e proporcionaram o perfeito desenvolvimento de nossos trabalhos acadêmicos.

Ao CNPq pela concessão de recursos.

E a todos que me deram apoio e ajudaram nesse trabalho.

Esprei tanto por esse dia que nem conseguia imaginar como seria. Talvez porque sonhei tanto com essa conquista. Passei por tanta coisa que nunca pensei passar na vida, coisas boas, coisas ruins (Pandemia).

O caminho foi tão rápido pra quem estava de fora e tão longo para quem estava dentro. Fiz algumas descobertas e vou relatar algumas:

Ser aluna de pós-graduação não é ruim ou uma prisão, pelo contrário, é realização de sonhos, posso dizer que estes anos de doutorado estão entre os melhores da minha vida até aqui.

A universidade com seu plano político pedagógico, por si só, ao final da pós, não vai te ensinar a ser professor teórico, prático, de extensão e pesquisador, tem uma parte do caminho que é você quem vai buscar e outro agradeça se a vida te der oportunidade de captar.

Sem amor, paixão, vontade e liberdade você não conseguirá, pesquisar, só funciona se tiver sentimento e vontade de fazer acontecer.

Sem família e amigos você não termina. Ninguém se faz doutora sozinha.

O campo da pesquisa também te ensina sobre a vida, as relações e como tocar a dor e a alegria das pessoas.

A universidade, depois de tantos anos, te deixa a oportunidade de observar que tipo de professor/pesquisador você quer ser ou não.

Morar em outra cidade/estado, te faz mais forte, mas também te deixa cicatrizes. Olhe para elas como troféus.

Você terá oportunidade de conhecer lugares que, em outras condições de sua vida, você não conheceria. Viajar é sempre espetacular.

Que 2, 4, 6 anos na "matrix" da pós graduação (porque é assim que nos sentimos) não é nada, quando comparado ao resto da sua vida:

Aos domingos perdidos com bate-papo com amigos, viagens ao interior com familiares, os primeiros passos do seu filho, quando alguém especial aprende ler e escrever e tantas outras coisas. Você começa a perceber o quão encantador são as descobertas das crianças e as histórias dos mais velhos em seu último percurso de vida. Mas quem está na matrix não consegue ver isso, até que saia de lá, por isso, não julgue ou fale frases como "vai passar", "quatro anos não é nada", "que fraqueza é essa?", "você não é assim", "não deve ser tão difícil", "custa não estudar só esse final de semana", "deixe de drama". Aqui é como a morte de alguém especial ou parto, só sabe quem passou na pele. E ainda assim, serão modos diferentes de vivenciar essa experiência.

Por fim, deixo um conselho para quem quer seguir esse caminho: você pode. Só precisa de três coisas: dedicação, oportunidade e persistência. Talvez a última seja a mais importante. O limite quem dá é você. Que mais pessoas, antes distantes desse mundo tão intelectual e seletivo, possam conhecê-lo e contribuir com um pouco de si. Que a universidade tenha negros, índios, brancos, pardos, gente que ainda não sabe quem é, diferente do "normal", ou seja, que tenha vontade de aprender, independentemente de onde veio ou de onde fala o seu coração. Apaixonem-se por estudar, o conhecimento é libertador, vençam barreiras, quebrem ciclos. VENÇAM.

DEUS, obrigada por toda graças a ti estou vida e realizando meus sonhos.

Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes.
Isaac Newton

Resumo

O camarão da Amazônia, *Macrobrachium amazonicum*, é um crustáceo de importância para o desenvolvimento da aquicultura brasileira. Tradicionalmente produzido pela pesca artesanal, tem sido estudado nos últimos anos visando o desenvolvimento de um pacote tecnológico para sua produção comercial em cativeiro, de forma a atender às demandas do mercado nacional. O estudo da bioacumulação de metais para a espécie é fundamental para compreender as exigências minerais em sua nutrição, bem como as limitações causadas pela ingestão em excesso desses elementos. Além disso, permite identificar a melhor região para a coleta de reprodutores, levando em consideração seu potencial reprodutivo. O ferro (Fe) e o zinco (Zn) são minerais essenciais para os camarões de água doce, ao passo que o alumínio (Al) e cádmio (Cd) são metais prejudiciais à saúde animal e humana. Estes elementos são encontrados em abundância nos sedimentos na região da foz do Rio Amazonas. O Fe e Zn desempenham papéis importantes na composição corporal dos crustáceos, influenciando seu desempenho produtivo e reprodutivo. A falta desses minerais na dieta pode comprometer sua fisiologia, já o excesso de Al e Cd pode acarretar efeitos negativos nos mesmos parâmetros zootécnicos. Contudo, a atividade mineradora, a qual lança dejetos em abundância nos rios da região, tem contribuído para o aumento da quantidade desses minerais e metais no meio ambiente. Isso representa um risco tanto à biota aquática quanto para a saúde da população que consome o pescado localmente produzido. Neste contexto, propõe-se com esse trabalho abordar a influência do Fe, Zn, Al e Cd sobre o organismo dos camarões e sua relação com a segurança alimentar das pessoas que consomem o pescado. Foi observado o maior acúmulo de Zn nos órgãos e menor concentrações de Zn no músculo e no exoesqueleto de *M. amazonicum*. O Fe teve maior acúmulo nos órgãos seguido de exoesqueleto e músculo. A acumulação de Zn nos órgãos dos machos foi maior do que no músculo e exoesqueleto enquanto as concentrações de Fe foram maiores nos órgãos, seguido do exoesqueleto e músculo. Nas fêmeas, a acumulação de Zn foi maior nos órgãos, não havendo diferença entre músculo e exoesqueleto. Conforme o presente estudo, para manter níveis de segurança alimentar, o consumo de camarões de água doce capturados e cultivados em Mazagão, Arquipélago do Bailique e comunidade de Ilha de Santana devem ser limitados a uma dose diária de ingestão de camarão de 96,52 g para Fe e de 226,81 g para Zn. Os níveis de Al nos camarões não diferiram de forma significativa segundo o sexo, porém os machos acumularam mais Cd que as fêmeas. Na ilha de Santana houve uma menor

acumulação de alumínio em relação aos demais pontos de coleta, já o cádmio teve uma grande variação de concentração em diversos pontos apresentando desvios expressivos, mas sem diferença significativa entre os locais. Já nos tecidos dos camarões predominava o acúmulo de dois metais nos órgãos, aplicados da musculatura e em menor quantidade no exoesqueleto. Os machos tiveram uma maior variação na acumulação de todos os diferentes pontos de coleta, sendo que os da ilha de Santana foram o grupo que menos acumulou o metal, já os machos dos outros dois locais tiveram altas taxas de acumulação. Já o Cd foi menos acumulado nas fêmeas da Ilha de Santana e mais nos Machos de Mazagão. As fêmeas têm menos Al e Cd no exoesqueleto, enquanto os órgãos de ambos os sexos se concentram nas coisas mais significativas. Recomenda-se cautela ou suspensão do consumo de camarões com altas concentrações desses metais.

Palavras-chave: carcinicultura; mineralização; bioacumulação; segurança alimentar; crustáceos.

Abstract

The Amazon shrimp, *Macrobrachium amazonicum*, is an important crustacean for the development of Brazilian aquaculture. Traditionally produced by artisanal fishing, it has been studied in recent years with a view to developing a technological framework for its commercial production in captivity, in order to meet national market demands. The study of metal bioaccumulation for the species is essential to understand the mineral requirements in its nutrition, as well as the limitations caused by excess intake of these elements. Furthermore, it allows identifying the best region for collecting breeding stock, considering their reproductive potential. Iron (Fe) and zinc (Zn) are essential minerals for freshwater shrimp, while aluminum (Al) and cadmium (Cd) are metals that are harmful to animal and human health. These elements are found in abundance in sediments in the region around the mouth of the Amazon River. Fe and Zn play important roles in the body composition of crustaceans, influencing their productive and reproductive performance. Deficiency in the diet can compromise its physiology, while excess Al and Cd can have negative effects on the same zootechnical parameters. However, mining activity, which releases an abundance of waste into the region's rivers, has contributed to the increase in the amount of these minerals and metals in the environment. This represents a risk both to aquatic biota and to the health of the population that consumes locally produced fish. In this context, this work aims to address the influence of Fe, Zn, Al and Cd on the shrimp organism and their implications for the food security of fish consumers. The highest accumulation of Zn in organs and lowest concentrations of Zn in the muscle and exoskeleton of *M. amazonicum* was observed. Fe had the highest accumulation in organs followed by exoskeleton and muscle. Zn accumulation in male organs was greater than in muscle and exoskeleton while Fe concentrations were greater in organs, followed by exoskeleton and muscle. In females, Zn accumulation was greater in organs, with no difference between muscle and exoskeleton. According to the present study, to maintain food security levels, the consumption of freshwater shrimp caught and farmed in Mazagão, Bailique Archipelago, and the community of Ilha de Santana should be limited to a daily dose of shrimp intake of 96.52 g for Fe and 226.81 g for Zn. Al levels in shrimp did not differ significantly according to sex, but males accumulated more Cd than females. On the island of Santana, there was a lower accumulation of aluminum compared to other collection points, while cadmium had a large variation in concentration at different points, showing significant deviations, but without significant differences

between the locations. In shrimp tissues, the accumulation of two metals predominated in the organs, applied to the muscles and in smaller quantities to the carapace. Males had a greater variation in accumulation across all different collection points, with those from Santana Island being the group that accumulated the least metal, while males from the other two locations had higher accumulation rates. Cd accumulated less in females from Santana Island and more in males from Mazagão. Females have less Al and Cd in the carapace, while the organs of both sexes are concentrated on the most significant things. Caution or suspension of shrimp consumption with high concentrations of these metals is recommended.

Keywords: shrimp farming; mineralization; bioaccumulation; food security; crustaceans.

LISTA DE FIGURAS

Artigo 1

Figura 1. Locais de coleta do *M. amazonicum*, Bailique: (arquipélago) 0°52'56.66"N, 50°6'22.22"W, Mazagão: (velho no rio) 0°13'33.99"S, 51°25'58.05"W, Ilha de Santana: (porto) 0°4'9.03"S, 51°9'51.66"W.

Artigo 2

Figura 1. Locais de coleta do *M. amazonicum*, Bailique: (arquipélago) 0°52'56.66"N, 50°6'22.22"W, Mazagão: (velho no rio) 0°13'33.99"S, 51°25'58.05"W, Ilha de Santana: (porto) 0°4'9.03"S, 51°9'51.66"W.

Figura 2. Concentrações de alumínio (Al) e cádmio (Cd) por sexo em *M. amazonicum* coletados próximos à foz do rio Amazonas.

Figura 3. Concentração de Al e Cd em *M. amazonicum* segundo local de coleta, diferentes pontos da foz do Rio Amazonas.

LISTA DE TABELAS

Artigo 1

Tabela 1. Biometria de *Macrobrachium amazonicum*.

Tabela 2. Tabela 2. Concentração de Zinco e Ferro em *Macrobrachium amazonicum* provenientes da bacia do Rio Amazonas.

Tabela 3. Quantidade mínima e máxima diária para ingestão de Fe e Zn para seres humanos adultos.

Artigo 2

Tabela 1. Dados biométricos de *Macrobrachium amazonicum* coletados em rios da Amazônia brasileira.

Tabela 2. A concentração de Al e Cd em *M. amazonicum* da bacia do rio Amazonas.

LISTA DE ABREVIATURAS

Al	Alumínio
As	Arsênio
Cd	Cádmio
Co	Cobalto
Cr	Cromo
Cu	Cobre
DNA	Ácido desoxirribonucleico
Fe	Ferro
Hg	Mercúrio
Ni	Níquel
Pb	Chumbo
Se	Selênio
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 Influência dos metais na aquicultura.....	11
2.2 <i>Macrobrachium amazonicum</i> (Camarão da Amazônia).....	15
2.3 Fontes de contaminação no estado do Amapá	18
2.4 Metais e a saúde humana.....	21
2.5 Minerais essenciais e metais não essenciais para crustáceos.....	24
3. OBJETIVOS	29
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
5. ARTIGO 1	56
6. ARTIGO 2	81
7. CONSIDERAÇÕES	101

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura é avaliada como um dos sistemas de produção de alimentos que mais cresce no mundo, produzindo importantes fontes de proteínas para suprir a demanda mundial (FAO, 2022). A carcinicultura de água doce tem grande representatividade na aquicultura brasileira, tendo o gênero *Macrobrachium*, como o mais cultivado no Brasil (VENTURA et al., 2019; ALBUQUERQUE et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2021; DE FREITAS BORGES, 2023).

A produção de camarões de água doce apresenta várias vantagens, tais como: maior resistência a doenças, maturação e larvicultura mais simples, independência da água salgada na fase de engorda e compatibilidade com pequenas propriedades (VALENTI, 2010; KUMAR et al., 2018; KAWAN et al., 2019; PILLAI et al., 2022).

Na carcinicultura de água doce, predomina o cultivo do gênero *Macrobrachium* (OLIVEIRA et al., 2021; FERNANDES et al., 2023). No mundo, as espécies mais cultivadas são *Macrobrachium rosenbergii* e *Macrobrachium nipponense* (De Haan, 1849), e, no Brasil, o *M. rosenbergii* também é a espécie mais cultivada, seguido do *Macrobrachium acanthurus* (Wiegmann, 1836), *Macrobrachium amazonicum* e *Macrobrachium carcinus* (Linnaeus, 1758) (BRAZAO et al., 2021; PHANSAWAT et al., 2022).

A cadeia produtiva de camarão de água doce cultivado no Brasil já é bastante consolidada e tem se expandido cada vez mais à medida que o número de fornecedores de insumos vem crescendo no país, como é o caso das indústrias de insumos (ração, medicamentos), laboratórios de pós-larvas e centros de processamento (HAYD & ANGER, 2013; KAWAN et al., 2019; NOGUEIRA et al., 2019).

Entre as espécies de camarão nativo destaca-se o camarão-da-Amazônia *Macrobrachium amazonicum*, pelo seu potencial reprodutivo, boa adaptação em sistemas de cultivo e pela ampla distribuição na América do Sul (MACIEL e VALENTI, 2009; STERZELECKI et al., 2021; PERROCA et al., 2022). O estado do Amapá está localizado no norte do país, é banhado pelo rio Amazonas e possui diversos rios e igarapés em sua extensão territorial (GROTT et al., 2018; DA SILVA LADISLAU et al., 2020).

Possui também grande potencial para o crescimento de atividades aquícolas, por ter clima propício, disponibilidade de recursos hídricos e principalmente por apresentar uma ampla variedade de espécies de peixes e camarões nativos com ótima aceitação no mercado (TAVARES-DIAS, 2011; OBA-YOSHIOKA et al., 2015; MATOS et al., 2023).

A pesca, comércio, agricultura e mineração estão entre as principais atividades econômicas do referido estado (CUNHA et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2018; SOUSA, 2023).

Nessa região tem ocorrências de problemas com a qualidade da água associados com a ausência de serviços de saneamento básico, apesar dos baixos índices de urbanização em comparação com os das regiões Sul e Sudeste (CUNHA et al., 2004) e metais ou minerais residuais oriundos, principalmente, da prática de atividades com a mineração (OLIVEIRA, 2014).

Os resíduos de metais e minerais em quantidades elevadas quando alcançam os corpos hídricos podem provocar danos aos ambientes aquáticos, aos organismos que os habitam (DAMASCENO et al., 2015; CHAGAS, 2019). Os crustáceos possuem hábito alimentar detritívoro e vivem em regiões de fundo, refletindo melhor a saúde do ambiente onde vivem e quando contaminados podem causar danos ao ser humano (LIMA, 2013; FERNANDES et al., 2022).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Influência dos metais na aquicultura

O consumo de alimentos oriundos da aquicultura está em constante crescimento (FAO, 2022). Isso se deve a segurança alimentar, aumento no consumo de pescados e a diversidade de espécies marinhas e de água doce (GARLOCK et al., 2022; FAO, 2022; SIMMANCE et al., 2022). No entanto, os produtos de origem aquícola podem ser considerados vetores de exposição a substâncias deletérias, tais como metais, que podem se acumular nas partes comestíveis dos organismos cultivados (GEPHART et al., 2022; STANKUS, 2021).

Os metais são elementos ou substâncias metálicas caracterizadas pela sua boa condutividade térmica e elétrica, geralmente apresentam brilho, possuem características atômicas, que proporcionam elevada resistência à degradação química, física e biológica no sistema aquático (MOLINA-GARCÍA, et al., 2021; LI et al., 2022). Essas propriedades favorecem a permanência dos metais no ambiente aquático por vários anos, mesmo depois da proibição de sua utilização ou despejo nos cursos d'água (PANDIYAN et al., 2021).

A presença dessas substâncias no ambiente aquático desperta preocupação a respeito da contaminação e intoxicação através do consumo diário de pescados por grande

parte da população mundial (LIU et al., 2022; ROCHA et al., 2023). Estão disponíveis na água, no solo e nos alimentos consumidos por peixes, ostras e camarões em seu ambiente natural ou em sistemas de cultivo dependendo da fonte de abastecimento de água e da origem do alimento fornecido (EL ATI-HELLAL et al., 2021; MIRANDA et al., 2021). Os metais podem ser introduzidos nos ecossistemas aquáticos de maneira natural ou artificial (KOMIJANI et al., 2021).

Naturalmente, por meio do aporte atmosférico e chuvas, pela liberação e transporte a partir da rocha matriz ou outros compartimentos do solo onde estão naturalmente (ZAYNAB et al., 2022; PUJARI et al., 2021). De modo artificial, por fontes antropogênicas de diversos ramos: esgoto *in natura* de zonas urbanas, efluentes de indústrias, atividades agrícolas, e rejeitos de áreas de mineração e garimpos (SHRESTHA et al., 2021). A contaminação de alimentos é a principal fonte de exposição a inúmeras substâncias tóxicas (EMENIKE et al., 2021; ROCHA et al., 2023).

A má qualidade alimentar pode afetar o funcionamento do organismo, provocando alterações nos sistemas nervoso e imunológico, afetando a funcionalidade de órgãos como, fígado, rim e coração (ADEKANMB et al., 2021; AHMAD et al., 2021). O consumo de pescados contaminados é a principal via de contaminação de seres humanos por poluentes orgânicos e inorgânicos, associados a sistemas aquáticos (PFEIFFER et al., 2021; VASCONCELLOS et al., 2021; MUKHERJEE et al., 2022).

Em peixes e camarões, a contaminação por estes elementos provoca distúrbios, tais como: baixa fertilidade, diminuição das defesas imunológicas, redução da taxa de crescimento e patologias que podem levar à morte do indivíduo (BASU et al., 2021; SARKAR et al., 2022; SULTANA et al., 2022). Metais essenciais, micronutrientes ou microminerais como o cálcio (Ca), o cobalto (Co), zinco (Zn), ferro (Fe), cobre (Cu) e selênio (Se) participam do funcionamento da maquinaria biológica e são considerados indispensáveis (em determinadas concentrações), auxiliando nos processos metabólicos (CHANDRAPALAN et al., 2021; SWAIN et al., 2021; Miranda et al., 2023).

Os microminerais são necessários em quantidades muito pequenas (em níveis menores que 100 mg/kg). Entre as funções dos minerais estão: compor o sistema esquelético, compor proteínas e lipídios, ativar sistemas enzimáticos e manter o equilíbrio osmótico em organismos aquáticos (DA SILVA PIERRI et al., 2021; EL-KADER et al., 2021). A exigência de nutrientes de um animal deve ser determinada de acordo com a idade, sexo, ganho em peso e composição corporal (BASU et al., 2021; LALL et al.,

2022). O efeito de um mineral no organismo não pode ser substituído por outro, eles são absolutamente necessários para o desenvolvimento animal (LALL et al., 2021).

Porém, em quantidades excessivas esses elementos provocam a toxicidade e podem desenvolver danos tão graves ou até maiores que os ocasionados pela insuficiência (LALL et al., 2021; DE LIMA et al., 2022). Existem também os metais pesados ou metais não essenciais para o funcionamento dos organismos, são elementos que possuem uma densidade maior que 5g/cm ou que possuem número atômico superior a 20, e compõe o grupo de substâncias poluidoras, como o alumínio (Al), mercúrio (Hg), níquel (Ni), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr) que estão no ambiente principalmente como consequência de atividades poluidoras (GARAI et al., 2021; NIN et al., 2021; MENG et al., 2022).

A acumulação dos metais no organismo é determinada pelo tempo de exposição e pela taxa metabólica do animal. Metais essenciais e não essenciais são tóxicos para organismos aquáticos quando ingeridos em altas concentrações ou após exposição crônica e/ou aguda (TURE et al., 2021; JIANG et al., 2022; Chaves et al., 2023). Os organismos expostos incorporam estes compostos através dos processos de bioconcentração e biomagnificação, desta forma estes metais podem prejudicar os seres em posições superiores dentro da teia trófica, incluindo o ser humano (AHMAD et al., 2022; YANG et al., 2022).

O zinco (Zn), cobre (Cu), chumbo (Pb), cromo (Cr), mercúrio (Hg) e cádmio (Cd) têm maior capacidade de acumulação (BRÁZOVÁ et al., 2021; NAEEM et al., 2021). Estudos recentes mostram órgãos como o intestino e tecido muscular de peixes e crustáceos como os locais que mais são afetados pela presença dos metais (ONITA et al., 2021; ZAYNAB et al., 2022). O Cd mesmo em níveis baixos, pode causar disfunção fisiológica em peixes e crustáceos impossibilitando a reprodução e possivelmente a sobrevivência no ambiente (DRAG-KOZAK et al., 2021; FERRO et al., 2021; JAAFAR et al., 2021).

Em altas concentrações (de acordo com a espécie e fase de desenvolvimento), o Cd pode causar déficits de crescimento, natação errática, alterações hematológicas e mortalidade nos peixes e crustáceos (CHERKASOVA et al., 2021; PAVLAKI et al., 2021; ZYŠK et al., 2021). O Cr em altas concentrações pode causar déficit de natação, irregularidade na respiração e na alimentação, ulcerações e morte em peixes e crustáceos (ALI et al., 2021; OBASOHAN et al., 2021).

O Cu é um elemento essencial e em baixa concentração passa a ser limitante para os peixes podendo resultar em anemia, distúrbios gastrointestinais, no mau desenvolvimento dos ossos, podendo até mesmo gerar mortalidade. Já em elevadas concentrações, o Cu pode causar efeitos subletais na respiração, comportamento, crescimento, metabolismo, reprodução de peixes e crustáceos e também levar à mortalidade (SABRY et al., 2021; TAKARINA et al., 2021; TAVARES-DIAS, 2021).

O Zn também é um elemento essencial para a fisiologia dos organismos, mas em altas concentrações (em peixes e crustáceos), pode obstruir as brânquias, causar o atraso na maturação e crescimento (SOLGI et al., 2021; TAKARINA et al., 2021). O Fe também é considerado essencial à biota, mas nos casos de intoxicação aguda por esse elemento pode haver a necrose do tecido branquial em organismos aquáticos (CHOI et al., 2022).

O Pb em altas concentrações pode causar alterações comportamentais em peixes e crustáceos, assim como ocasionar a redução do crescimento em função de mudanças no metabolismo (AL-KSHAB et al., 2021; GIRI et al., 2021; MAHJOUB et al., 2021). O Al pode causar disfunções fisiológicas e comportamentais, uma vez que possui capacidade de se acumular em tecidos e órgãos, provoca alterações fisiológicas como distúrbios cardiovasculares, hematológicos, metabólicos, endócrinos e reprodutivos em peixes (Da silva et al., 2023).

Em peixes, o Hg em concentração elevada pode causar mutações genéticas, sangramento pelo corpo, distúrbios neurológicos e imunológicos e alterações bioquímicas, e em crustáceos pode afetar a reprodução (MAHJOUB et al., 2021; VIEIRA et al., 2021; TEUNEN et al., 2022). A incorporação do mercúrio nos sedimentos é um meio predominante à entrada deste metal nos organismos aquáticos, provocando concentrações relativamente altas nos animais bentônicos (DONADT et al., 2021).

A qualidade de recursos hídricos para a criação de camarões, em tanques, viveiros ou gaiolas (Figura 1) (comumente utilizado para realização da engorda de camarões no estado do Amapá), influencia o desenvolvimento da espécie cultivada, comprometendo a saúde do animal e de quem faz seu consumo na alimentação (DAMASCENO et al., 2015; VIANA et al., 2021).

Figura 1. Cultivo de camarões em gaiolas.



Fonte: Arquivo pessoal

2.2 *Macrobrachium amazonicum* (Camarão da Amazônia)

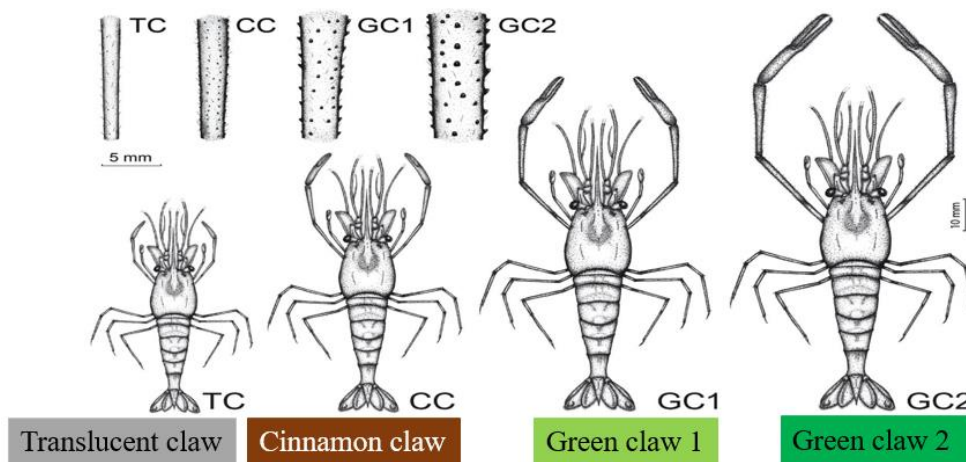
O camarão de água doce *Macrobrachium amazonicum* (Ordem Decapoda) é uma espécie nativa de crustáceo, com ampla distribuição geográfica, ocorrendo no Equador, Argentina, Venezuela e com grande distribuição nos estados brasileiros (Amapá, Amazonas, Pará, Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Mato Grosso, Paraná, Acre, Goiás e Mato Grosso do Sul) (PASCHOAL et al., 2018; DE ANDRADE LOPES et al., 2020; DAVID et al., 2021; PERROCA et al., 2022).

O camarão da Amazônia é uma espécie de hábito bentônico, possui importância ecológica, pois participa de vários níveis tróficos, auxilia na manutenção e equilíbrio de ecossistemas aquáticos, na ciclagem de energia e no fluxo de nutrientes (DE ARAUJO et al., 2007; COSTA et al., 2020; DOS SANTOS et al., 2023). São animais onívoros, consomem facilmente qualquer tipo de alimento disponível, como pequenos invertebrados vivos, polpa animal ou matéria vegetal seca e aceitam com facilidade rações comerciais (RIBEIRO et al., 2016).

A espécie é caracterizada morfologicamente pela presença de um rostro longo com espinhos muito curtos (PASCHOAL et al., 2019; RUIZ et al., 2020). Quando vivos, apresentam-se transparentes. As fêmeas adultas apresentam o segundo par de quelípedes proporcionalmente menor e com poucos espinhos. As pleuras dos segmentos abdominais das fêmeas são mais compridas e arcadas para fora, formando a câmara incubadora (VENTURA et al., 2022; PASCHOAL et al., 2023).

Os machos adultos são geralmente maiores que as fêmeas e apresentam o cefalotórax e o segundo par de quelípedes proporcionalmente mais desenvolvidos (AUGUSTO et al., 2016; RUIZ et al., 2019). A variação de tamanho entre gêneros de *M. amazonicum* reflete uma estrutura complexa da população, composta de quatro morfotipos (Figura 1) masculinos sexualmente maduros, esses morfotipos incluem dois tipos pequenos: o ‘translucent claw’ (TC) e o ‘cinnamon claw’ (CC); e dois grandes: o ‘green claw’ 1 (GC1) e o ‘green claw’ 2 (GC2) (MORAES-RIODADES et al., 2004; PANTALEÃO et al., 2014).

Figura 2. Morfotipos de *M. amazonicum*.



Fonte: Valenti, 2001

Os morfotipos pequenos diferem principalmente na cor dos quelípedes e na inclinação de seus espinhos pequenos (FREIRE et al., 2017). Os morfotipos grandes diferem principalmente no comprimento de seus quelípedes, que são mais longas em GC2 comparado com o GC1 (DA SILVA et al., 2009; AUGUSTO et al., 2014; IBRAHIM et al., 2021). O ciclo de vida do *M. amazonicum* é compreendido pelas fases de ovo, larva, pós-larva, juvenil e adultos (BASTOS et al., 2019).

No período reprodutivo, a fêmea sofre uma muda pré-cópula e em seguida, o macho deposita o espermatóforo (bolsa que contém os espermatozoides) em sua região abdominal (FERREIRA et al., 2012; LIMA et al., 2014; MAZZARELLI et al., 2015; SILVA et al., 2017). Posteriormente, a fêmea exterioriza os óvulos, que são fecundados ao passar pela massa de espermatozoides (VENTURA et al., 2019; ROCHA et al., 2023). Os ovos formados, ficam aderidos aos pléopodes no abdômen da fêmea, tendo o período de incubação a duração de 12 a 18 dias (MEIRELES et al., 2013; PASCHOAL et al., 2020).

Inicialmente os ovos possuem uma cor verde escura, mas mudam para a coloração laranja até eclodirem (PANTALEÃO et al., 2018). As larvas nascem como zoea (Z) de vida livre, com cerca de 3 mm, passando por cerca de nove subestágios larvais (BASTOS et al., 2019), até sofrerem metamorfose dando origem à fase de pós-larva. O desenvolvimento larval leva cerca de três semanas e ocorre em água salobra. A salinidade ideal é de cerca de 14‰ (ou 14 g/L), faixa onde o gasto energético com a osmorregulação das larvas é menor (FALEIROS et al., 2007; BOUDOUR-BOUCHEKER et al., 2016).

Porém, um desenvolvimento adequado é possível também em baixa salinidade, de até 1‰ (ou 10 g/L). Na primeira fase larval, zoea I (Z I), os animais não se alimentam, consumindo nutrientes de suas reservas endógenas (DE ARAUJO et al., 2005; NOGUEIRA et al., 2020). Z II também são lecitotróficos, porém facultativos. Passam por uma fase carnívora (Z III), se alimentando de zooplâncton (MACIEL et al., 2014; ARAUJO et al., 2017). Vale lembrar que uma salinidade mais elevada é vantajosa em criações em cativeiro, porque aumenta o tempo de sobrevivência dos náuplios de *Artemia*. Mais adiante poderão receber alimentos inertes ricos em proteína (HAYD et al., 2013; ARAUJO et al., 2017).

Algumas espécies do gênero *Macrobrachium*, dentre as quais *M. amazonicum*, reproduzem-se durante todo o ano, o que torna a espécie vantajosa para produção comercial (SAMPAIO et al., 2007; MEIRELES et al., 2013). *M. amazonicum* é considerado um crustáceo nobre para comercialização, pois possui alto valor nutricional (CHAGAS et al., 2019; ALCÂNTARA et al., 2016). Nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, a captura de camarões dulcícolas em ambientes naturais é uma atividade tradicionalmente praticada pelos pescadores artesanais (BASTOS et al., 2019).

Nas demais regiões do Brasil, essa espécie tem importância econômica para consumo humano, utilizada como isca, como camarão ornamental e para produção em laboratórios para posterior uso em pesquisas e criações em cativeiro (AGUIAR, 2016,

RAMOS et al., 2016). Atualmente *M. amazonicum* é uma espécie com alta produtividade pela pesca e cria em atividades aquícolas na região norte do Brasil (RAMOS et al., 2016). É o principal camarão de água-doce comercializado, consumido e explorado nos estados do Pará e Amapá pela pesca artesanal, onde apresenta uma comercialização elevada (ALCÂNTARA e KATO, 2016; DA SILVA et al., 2016).

2.3 Fontes de contaminação no estado do Amapá

A mineração é uma das principais atividades econômicas do estado do Amapá, o que implica no despejo e manuseio incorreto de metais na exploração e extração, que acabam sendo descartados nos solos e rios em diversas regiões favorecendo a contaminação dos organismos (BIDONE et al., 1997; FERNANDES et al., 2022; RAUBER & PALHARES, 2022). Independentemente da quantidade que é despejada nos rios esses metais são tóxicos por serem cumulativos a longo prazo em organismos aquáticos (MORENO et al., 2018; HACON et al., 2020).

O estado do Amapá apresenta extensas bacias hidrográficas, onde a maioria de seus rios segue em direção ao Atlântico, sendo alguns com potencial econômico. A mineração no Amapá é exercida de forma legal e ilegal favorecendo a atividade de garimpo (PEREIRA et al., 2011; Santos et al., 2023). A procura por ouro em todo o território amapaense na década de 70 culminou na descoberta de vários depósitos e, conseqüentemente, na implantação de vários núcleos garimpeiros nos domínios das bacias dos principais rios do estado (CHAGAS, 2019; FERNANDES et al., 2022).

O garimpo do Lourenço está entre as principais áreas mineradoras do estado do Amapá, de onde resíduos de metais são despejados nos rios próximos (SIMÕES, 2009; CHAGAS, 2019). Nas décadas de 1980 e 1990 foi considerada uma das áreas de maior produção mineral da Amazônia (MATHIS, 2003; DE OLIVEIRA, 2017; BRITO, 2021) baseada na exploração de ouro tanto por garimpeiros quanto empresas mineradoras. Este garimpo está localizado na faixa centro-oeste da bacia do Rio Cassiporé (BRC), distante 80 km da sede do município de Calçoene, e aproximadamente a 500 km de Macapá (capital do estado do Amapá) (DE OLIVEIRA, 2017; FERNANDES et al., 2022).

Com o crescimento da atividade mineradora, o processo de degradação ambiental acelerou, aumentando o desmatamento e o processo erosivo das encostas dos morros, ocasionando deslizamentos de taludes, queda de blocos rochosos, poluição de corpos hídricos (CHAGAS, 2019; De Campos et al., 2023). O Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) (1986) realizou estudos nas regiões do Lourenço e Cassiporé

(Amapá) e mostrou que 60% do Mercúrio (Hg) utilizado pelos garimpos na época eram perdidos para o meio ambiente, estas áreas se encontravam em estado avançado de degradação e contaminação (DE OLIVEIRA, 2017; FERNANDES et al., 2022).

A atividade garimpeira de ouro é um ramo que gera a liberação de vários metais para o meio aquático. Nos processos de lavra em que a polpa (água + terra) é trabalhada, metais pesados presentes no solo (Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn) são desprendidos, concentrados e liberados junto aos rejeitos nos rios (BRITO, 2021; FERNANDES et al., 2022). A garimpagem em áreas com Al, Fe, Cd e Cr no solo, ocasiona a concentração destes elementos nos sedimentos despejados na água. Isto dá origem à formação de sulfetos destes metais, facilitando a fixação ao sedimento e transporte pela água (MATHIS, 2012).

O material despejado nos rios oriundos da mineração na região do Lourenço, podem aumentar a concentração de metais pesados na água, nas margens, no leito dos rios, e biota (peixes e crustáceos). A região apresenta em seu solo altas concentrações de alumínio (Al: 28 ppm), ferro (Fe: >200 ppm), cádmio (Cd: 43 ppm), cromo (Cr: 90 ppm), chumbo (Pb: 93 ppm), níquel (Ni: 100 ppm) e zinco (Zn: 260 ppm) (MATHIS, 2012; GRANGEIRO, 2016). O oxigênio dissolvido (O.D), temperatura e pH, também influenciam a mobilidade e conseqüentemente a potencialidade tóxica do Cd, Cr, Cu, Pb, Zn e Hg no meio aquático (LI et al., 2019; SINTORINI et al., 2021).

Os ecossistemas aquáticos da Amazônia brasileira estão cada vez mais frágeis devido a várias atividades antrópicas insustentáveis. Podemos citar como exemplo a bacia hidrográfica do rio Araguari, no município de Ferreira Gomes-AP que está sofrendo forte pressão antrópica como consequência de atividades econômicas, como mineração e construção de hidrelétricas (COSTA et al., 2022). Como conseqüências dessas atividades antrópicas, diversos poluentes são lançados no leito do rio Araguari, incluindo elementos inorgânicos potencialmente tóxicos, como As, Cd e Hg (KOMONWEERAKET et al., 2015; VIANA et al., 2021).

Fornaroli et al. (2018) relatam que Hg, Cd e As no ambiente aquático estão associados principalmente a efluentes e emissões de mineração no processamento de minérios que contêm altas concentrações desses contaminantes. Esses elementos acumulam e danificam a vida aquática com riscos subseqüentes para a saúde humana (HUANG et al., 2021). No estado do Amapá, a pesca está presente como atividade econômica, é a principal fonte nutricional para as populações que vivem as margens dos rios (CANAFÍSTULA et al., 2021; DE FARIAS PANTOJA et al., 2021; SOUSA et al.,

2023). Quando comparado às demais regiões brasileiras, tanto costeiras quanto de águas interiores.

Podemos citar regiões como Arquipélago do Bailique, município de Mazagão e comunidade de Ilha de Santana que possuem grande representatividade na pesca e comercialização de camarão, dando destaque para o *M. amazonicum* (camarão da Amazônia), seguido do *Macrobrachium carcinus* (Pitu) (AZEVEDO et al., 2109). O Arquipélago do Bailique é um território de populações tradicionais distribuídas em ilhas estuarinas e uma faixa continental, localizado na foz do Rio Amazonas (VIEIRA et al., 2006; GUABIRABA et al., 2016).

Nessa região equatorial, banhada pelo Oceano Atlântico, deságua 20% de toda água doce do mundo e os sedimentos trazidos pelo Rio Amazonas em seu curso desde as Cordilheiras dos Andes (PRESTES et al., 2021). A região de Mazagão Velho está localizada no município de Mazagão, este foi instituído em 28 de novembro de 1890, por meio da Lei nº 226, sendo o segundo município criado no Amapá (SOUZA et al., 2019). Mazagão possui hoje uma área de 13.294,78 km², em consequência da sua divisão para a formação dos municípios de Laranjal do Jari e Vitória do Jari (Lomba et al., 2017; FERREIRA et al., 2019).

A comunidade da Ilha de Santana é um distrito do município brasileiro de Santana, no estado do Amapá (AZEVEDO et al., 2019). Está separada do continente pelo canal de Santana, recebe a influência direta dos rios Matapi e Vila Nova que deságuam na área. Esta área é estratégica para o Estado, pois nela localiza-se o porto de embarque e desembarque de cargas e pessoas (DOS SANTOS et al., 2018). Nos três locais citados é realizada a captura de *M. amazonicum* para a formação do plantel de reprodutores e também engorda em cativeiro, comercialização e consumo.

O cultivo de crustáceos depende basicamente da manutenção de um estoque de reprodutores que possa assegurar a continuidade da produção larval durante todo o ano (CARVALHO, 1980; KALANDA et al., 2021). Tendo em vista a importância dos camarões como fonte alimentar às populações locais e o efeito antrópico causado ao ambiente é necessário investigar a concentração de metais nestes animais visando garantir a segurança alimentar, ambiental e qualidade produtiva.

Os efeitos da contaminação de alguns metais essenciais e não essenciais, citados anteriormente, já são conhecidos em peixes. No entanto, para os camarões, como *M. amazonicum*, ainda é necessário investigar a concentração segura, quais partes do corpo ocorre maior acumulação e os danos provocados pela exposição excessiva a estes metais.

2.4 Metais e a saúde humana

O ser humano necessita de doses pequenas de alguns metais nestes casos estes também podem ser classificados como microminerais ou minerais, como o cálcio (Ca), o cobalto (Co), zinco (Zn), ferro (Fe) cobre (Cu) e Selênio (Se) (SOLGI et al., 2019; GODSWILL et al., 2020; MANDIÁ et al., 2021). Os microminerais são nutrientes imprescindíveis para que o corpo humano desempenhe suas funções vitais (HUANG et al., 2020).

Todos os microminerais presentes no organismo humanos são provenientes da dieta, por meio da ingestão de vegetais, animais e água (SABATIER et al., 2019). Estes possuem inúmeras funções no organismo, tornando-se encarregados do funcionamento do sistema endócrino, nervoso, esquelético e circulatório (JOHANSSON et al., 2021; FARIA et al., 2023).

Além disso, atuam como cofatores e coenzimas para inúmeros sistemas enzimáticos, colaborando na coordenação e regulação das funções bioquímicas e fisiológicas (DE GROOTE et al., 2021). A deficiência de microminerais pode ocasionar efeitos contrários para o progresso do organismo humano, incluindo a saúde e aparência da pele (GODSWILL et al., 2020). O Zn é um elemento importante na nutrição, pois é parte integrante de cerca de 20 metaloenzimas como a superóxido dismutase (SOD), fosfatase alcalina, álcool desidrogenase e anidrase carbônica (WATANABE et al., 1997), o que o torna um mineral imprescindível para a saúde dos indivíduos (PRASAD et al., 2019; BHATT et al., 2020).

A deficiência deste mineral pode ocasionar desequilíbrio na saúde humana, podendo manifestar-se como distúrbios clínicos, por exemplo, doenças hepáticas e renais, síndromes de má absorção do sistema gastrointestinal, disfunção imunológica, envelhecimento, dermatite e danos no processo de cicatrização de feridas (TAKEDA et al., 2018; PRASAD et al., 2019). Já elevadas concentrações de Zn podem provocar vômitos, diarreia, insuficiência renal (CAROCCI, et al., 2018; WAN et al., 2019).

Alguns alimentos podem ter diminuída sua biodisponibilidade do Zn, como os alimentos ricos em fitatos, porém outros alimentos potencializam a absorção, como proteínas animais (YIN et al., 2021; MAARES et al., 2021). O corpo humano não armazena o Zn de uma forma específica (SIGNORELL et al., 2019; HARA et al., 2022). A necessidade de Zn aumenta durante o processo de cicatrização de feridas (KOGA et al., 2020). Experimentos em ratos mostraram que os níveis locais de Zn aumentaram em

decorrência de um ferimento, comprovando que esse mineral é importante para o processo de reparo da pele (CERQUEIRA et al., 2021; SADDIK et al., 2022). Já elevadas concentrações de Zn podem provocar vômitos, diarreia, insuficiência renal (CAROCCI, et al., 2018; WAN et al., 2019).

Foi demonstrado também, que compostos de Zn usados de forma tópica acelerou a reparação de úlceras de perna (VENEZUELA et al., 2019; HAGHNIAN et al., 2021). O cobre (Cu) é um micronutriente metálico, sendo que no corpo humano a maior deposição de Cu ocorre no fígado, seguido pelo sangue, medula óssea e músculo esquelético (BOSSAK et al., 2018; PENEZÍĆ et al., 2019).

Parte desse Cu atua como cofator de diversas enzimas incluindo, a superóxido dismutase, a ceruloplasmina (proteína de transporte de Cu no sangue) e a cobre tioneína, que estão envolvidas na defesa antioxidante. O Cu também é essencial para a atividade da lisil oxidase, que desempenha um papel importante na reticulação e maturação das fibras de colágeno e elastina. Outras enzimas dependentes de Cu incluem a citocromo-C oxidase, que é a enzima final do processo de transporte de elétrons e fosforilação oxidativa, e a tirosinase, que é fundamental para a formação de melanina, entre outras funções (LINDER et al., 1998; AVRAM et al., 2021).

O uso de Cu inorgânico tem grande eficácia em preparações para tratar anemia, sífilis, infecções por tuberculose e eczema (BACCHELLA et al., 2019). O cobre, foi utilizado como antimicrobiano até a origem dos antibióticos comerciais em 1932 (GRASS et al., 2010; PINTER et al., 2022). Quando o organismo está com deficiência de Cu pode ocorrer mudanças na pigmentação da pele, irritabilidade, depressão leve, síndrome de Menkes, uma doença genética, que causa deficiência intelectual grave, vômitos e diarreia (PROHASKA, 2014; HALEVAS et al., 2021; LIZAOLA-MAYO et al., 2021).

O ferro (Fe) é um mineral essencial para o ser humano em baixas quantidades (ABBASPOUR et al., 2014; FREITAS, 2015). De acordo com Frise et al. (2017), a deficiência de Fe provoca anemia, caracterizada pela diminuição ou ausência das reservas de Fe e pela baixa concentração férrica no sangue, fraca saturação de transferrina, redução da concentração de hemoglobina e do hematócrito, que se refletem em mudanças na citomorfologia eritrocitária, apresentando microcitose e hipocromia e causando distúrbio no mecanismo de transporte de oxigênio. Já o excesso de Fe pode causar hemocromatose e insuficiência cardíaca.

O cálcio (Ca) atua em funções fisiológicas essenciais, que incluem etapas da coagulação sanguínea, comunicação celular, permeabilidade das membranas, exocitose, endocitose, mitose, contração muscular, função miocárdica, transmissões neuromusculares e suporte estrutural do esqueleto (GHARIBZAHEDI et al., 2017; GELLI et al., 2019).

Este micronutriente é determinante da formação óssea (GELLI et al., 2019). Se as quantidades adequadas de Ca não estão sendo fornecidas pela dieta, ele será mobilizado dos ossos para a corrente sanguínea, reduzindo, assim, seu conteúdo e aumentando a fragilidade nos ossos (FERREIRA et al., 2015). O cobre (Co) é um elemento essencial para os humanos, respeitando as doses adequadas (DIGUILIO et al., 2018; LAUMONIER et al., 2020). É encontrado geralmente nos minérios cobaltita, linnaeíta, esmaltita e eritrita.

Está presente no solo, rochas, água, plantas e proteínas, sendo os vulcões e incêndios florestais fontes naturais para a disseminação no ambiente, enquanto que são fontes antropogênicas, a queima de petróleo, gás natural, carvão mineral e mineração/fundição de minérios com o Co (BEZERRA, 2016).

A dieta é a principal fonte de Co para os humanos, sendo encontrado em alimentos como carnes, ervilha, leite e ovos (WHO, 2006). O Co é essencial por ser um componente da vitamina B12, a cobalamina, que é uma coenzima necessária para o metabolismo energético, para o bom funcionamento do sistema nervoso e gastrointestinal, a formação sanguínea (sendo importante no tratamento da anemia e na eritropoiese), a absorção do Ca e síntese proteica. Portanto, uma deficiência de Co pode levar à anemia, fraqueza, retardo no crescimento e lesões no sistema nervoso central (WHO, 2006; LIM et al., 2015; ZHU et al., 2021).

O selênio (Se) é um micromineral necessário para a maioria dos animais, sendo que o pescado é uma das principais fontes de Se para alimentação humana (EL-RAMADY et al., 2015; EL-RAMADY et al., 2020). Concentrações de metais acima dos limites recomendados pelas agências reguladoras representam um risco à saúde humana, pois a ingestão de alimentos é a principal via de suplementação ou contaminação. Desta forma, pesquisas visando determinar os níveis desses elementos em pescados podem contribuir para a melhoria das condições de cultivo (MAO et al., 2019; ADIMALLA et al., 2020; ZHENG et al., 2020).

Os riscos à saúde associados ao consumo de pescados contaminados podem ser 20 a 40 vezes mais elevados do que a ingestão de água contaminada (ALI et al., 2018; MAURYA et al., 2019; HEMBROM et al., 2020). Dependendo das concentrações de metais e microminerais, eles podem apresentar propriedades tóxicas para os seres vivos

(ENGWA et al., 2019; GENCHI et al., 2020). Assim como os metais não essenciais, os microminerais podem causar efeitos nocivos ao organismo quando utilizados em concentrações acima do limite permitido (SALL et al., 2020; ALENGBAWY et al., 2021).

O chumbo (Pb) tem potencial de causar insuficiência renal, dano hepático, coma, retardo mental. Já o cádmio (Cd) gera insuficiência renal, infertilidade, hipertensão, tumores e disfunção hepática (AL-GHAFARI et al., 2019; EBRAHIMI et al., 2020). O arsênio pode causar irritação com danos nas mucosas nasais, laringe e brônquios (MONTEIRO DE OLIVEIRA et al., 2021). Exposições prolongadas de arsênio (As) podem provocar perfuração do septo nasal e rouquidão característica e, a longo prazo, insuficiência pulmonar, traqueobronquite e tosse crônica (SANKHLA et al., 2018).

O cromo (Cr) pode danificar estruturas celulares e suas funções por consequência, quando em excesso. Já o Al interfere na síntese de proteínas, pode desencadear problemas mentais (demência, Alzheimer) e até autismo em bebês no ventre da mãe (SINGH et al., 2020; KAUR et al., 2021). O manganês (Mn) em doses acima de 2,3 mg/kg pode causar anemia ferropriva e deficiência de Cu, além de interferir na utilização da tiamina (vitamina B1) e aumentar a necessidade de vitamina C (VAN RENSBURG et al., 2019).

O mercúrio (Hg) interfere na síntese de proteínas, sua forte afinidade pelos radicais sulfidrilas, amina, fosforil, carboxil provoca a inibição da síntese de proteínas, especialmente nos rins, a inativação de uma série de enzimas e lesão da membrana celular (MA et al., 2020; VAN RENSBURG et al., 2020; JUNIOR et al., 2023).

2.5 Minerais essenciais e metais não essenciais para crustáceos

Crustáceos fazem integração com sedimentos e água de ambientes poluídos onde vivem. Acumulam poluentes de várias maneiras por serem micrófagos (consumidores de depósitos sedimentares e matéria orgânica) e macrófagos (consumidores de matéria animal) (BEREZINA et al., 2019; MORUF et al., 2019; WOJEWÓDKA et al., 2020). Nestes animais ocorre a absorção de metais através das brânquias, pois a maioria de sua superfície é impermeável (MCDONALD et al., 2020) ou através da parede intestinal com a ingestão de metais associados aos alimentos (ALLEN et al., 2021; DE ALMEIDA RODRIGUES et al., 2021).

Por possuírem hábito bentônico, as chances de entrarem em contato com poluentes aumentam, já que os sedimentos são considerados sumidouros de uma série de contaminantes ambientais (ABDOLHAY et al., 2020; SHALINI et al., 2020). A

bioacumulação de metais por alguns invertebrados, como os crustáceos, é maior através da absorção desses contaminantes associados aos alimentos (MORUF et al., 2019; RÍOS-ESCALANTE et al., 2023). As concentrações de metais acumuladas por esses organismos possuem grandes variações dependendo de cada metal e da espécie em questão (BONSIGNORE et al., 2018; ALMEIDA RODRIGUES et al., 2021).

Durante o processo de crescimento, os camarões realizam a ecdise ou muda, neste momento há alta permeabilidade dos metais e microminerais, devido à formação da nova cutícula, havendo necessidade de íons como cálcio para recalcificação do exoesqueleto (AMINI et al., 2019; LEMOS et al., 2021). Ca, Co, Zn, Fe, Se, Mn e Cu, chamados de metais essenciais, microminerais ou metais, têm papel essencial no metabolismo dos crustáceos (MAIA et al., 2022).

No entanto, assim como Hg, Ni, Cd, Pb e Cr, que não são essenciais, todos têm potencial para causar efeitos ecotoxicológicos dependendo de sua concentração (DO et al., 2022; MAIA et al., 2022; NESAPRIYAM et al., 2022). Os minerais são elementos químicos sólidos ou cristalinos que devem ser suplementados na dieta do animal, pois não são sintetizados por eles e nem podem ser originados de reações químicas metabólicas (MAIA et al., 2022; PATRACHOTPAKINKUL et al., 2020).

O Cu está presente na hemocianina (pigmento respiratório) da maioria dos crustáceos como principal carreador de oxigênio e é também um componente de pelo menos 12 proteínas nesses animais (SHI et al., 2021). Durante a muda dos crustáceos decápodos, a hemocianina é catabolizada e o Cu é armazenado temporariamente no hepatopâncreas (VERA-VERA et al., 2019; XING et al., 2022).

O processo de sínteses subsequentes de novas hemocianinas envolve reciclagem do micromineral armazenado, resultando em alteração na concentração desse metal neste tecido (SHI et al., 2021). A hemolinfa do camarão possui a molécula baseada em Cu, onde o oxigênio, nas brânquias, é então carreado para todo o corpo e está envolvida em funções especializadas no transporte de oxigênio, sendo responsável pelas trocas gasosas na respiração dos artrópodes (QIAN et al., 2020; BAUTISTA-COVARRUBIAS et al., 2022).

Lee e Shiau (2006) afirmam que o efeito do Cu na produção de camarão *P. monodon*, com dietas suplementadas com 10 e 20 mg/kg de Cu apresentaram aumento significativo ($p < 0,01$) de ganho de peso, eficiência alimentar e relação de eficiência proteica em relação aos camarões que foram alimentados com a dieta controle sem suplementação de Cu, e com níveis maiores ou iguais à 40 mg/kg.

Yeh et al. (2004) observaram que concentrações de Cu na água igual ou superior à 1 mg/L, durante 24 horas, resultaram em diminuição da contagem total de hemócitos, da atividade da enzima fenoloxidase, da atividade fagocítica, da eficiência de depuração e da susceptibilidade do *L. vannamei* à infecção por *Vibrio alginolyticus*, devido a uma depressão na capacidade imune.

O Zn é requerido para a atividade enzimática em camarões, e é componente de um grande número de metaloenzimas, incluindo anidrase carbônica, carboxipeptidase A e B, álcool desidrogenase, desidrogenase glutâmica, D-gliceraldeído-3-fosfato desidrogenase, lactato desidrogenase, málico desidrogenase, fosfatase alcalina, aldolase, superóxido dismutase (SOD), ribonuclease e DNA polimerase (NRC, 2011; LALL, 2002; KARAMZADEH et al., 2022).

Na nutrição de camarões, indicadores imunológicos sugerem que concentração de 35 a 48 mg/kg de Zn na dieta é ideal para melhorar as respostas imunes não específicas de *P. monodon* (MUDULI et al., 2018). O excesso de Zn está associado a causa de redução no crescimento e na taxa de consumo do *L. vannamei*, além de alterações nas condições nutricionais, possivelmente por não disponibilizar bioquimicamente os nutrientes da dieta, por meio do hepatopâncreas (WU e CHEN, 2005).

Avaliando o requerimento metabólico de Cu e Zn para crustáceos (carga corpórea total, incluindo exoesqueleto), a grande maioria dos dados publicados caem dentro da faixa de 70 a 122,5 µg/g de peso seco para os dois metais (YU et al., 2018). Em crustáceos, o Fe está presente no núcleo de enzimas e pigmentos (SHEIKH ASADI et al., 2018). Este micronutriente pode ser ingerido por animais pela alimentação, pela ingestão de água contendo Zn e através da alimentação de organismos com acumulação do metal (JIAO et al., 2022).

A ingestão excessiva de Fe parece ter efeitos potencialmente adversos no crescimento do Peneídeo *Marsupenaeus japonicus* (DESHIMARU & YONE, 1978; KANAZAWA et al., 1984). Na carcinicultura, a importância do Fe está em compor a proteína ferretina. Em pesquisas, a Ferretina recombinante via injetável exerceu papel protetivo contra o *White Spot Syndrome Virus* (WSSV), doença da mancha branca, por supressão da replicação viral pela qual o Fe tem envolvimento (YE et al., 2015).

Nos camarões *M. amazonicum*, o selênio (Se) auxilia na eliminação eficiente dos peróxidos e constitui os principais agentes antioxidantes no organismo (DEVLIN, 2007; SAMPAIO et al., 2004). O Se também apresenta a função de proteção contra a toxicidade de metais pesados, como o Hg e o Cd. Dentre os microminerais considerados essenciais,

o Se é o mais tóxico, uma vez que a diferença entre sua necessidade e toxicidade é muito pequena (YU et al., 2021).

Davis (1990) observou maior crescimento de juvenis de *L. vannamei*, quando esses foram alimentados com dieta purificada contendo 0,20 mg/kg de Se, e que a suplementação de Se acima de 0,30 mg/kg deve ser evitada, devido ao seu efeito tóxico. Wang et al. (2013) observaram que o mecanismo de toxicidade do nitrito no camarão *L. vannamei*, envolve a suplementação de dietas com níveis mais altos de Se, tornando-se prejudicial ao camarão devido ao aumento da toxicidade do nitrito. Segundo o NRC (2011), o nível de Se recomendado para camarões seria de 0,20 a 0,40 mg/kg.

O Mn é o quinto elemento mais abundante na terra e é conhecido por ser necessário para animais (Suttle, 2010). Está envolvido em sistemas bioquímicos como cofator enzimático ou grupos ativos, como a Mn superóxido dismutase (Mn-SOD). Os sintomas da deficiência de Mn incluem crescimento lento, reprodução prejudicada e anormalidades esqueléticas (NRC, 2011; JIAO et al., 2021).

Além disso, o Mn possui função em diversos processos bioquímicos como ativador de algumas metaloenzimas como a piruvato carboxilase, superóxido dismutase e a glicosiltransferase (SUTTLE, 2010; GONZÁLEZ-RUIZ et al., 2020). Em crustáceos, o hepatopâncreas é o órgão que excreta as enzimas digestivas, absorve nutrientes e armazena reservas. As funções do hepatopâncreas na absorção, desintoxicação e excreção de microminerais são essenciais à fisiologia dos crustáceos (DALL & MORIARTY, 1983).

Segundo Cai et al. (2017), a concentração de Mn no hepatopâncreas e no músculo dos camarões, aumentou com os níveis crescentes de Mn na dieta, sendo que o acúmulo foi menor no músculo do que no hepatopâncreas. Embora o aumento das concentrações de Mn na dieta de camarões não tenha impactado significativamente a sua sobrevivência, o mesmo comprometeu o crescimento e o desempenho quando ofertado em concentrações superiores a 570 mg/kg de Mn na dieta (Kuhn et al., 2017).

O excesso de metais em solos de viveiros na carcinicultura pode ser causado pelo uso frequente de fertilizantes e metalo-pesticidas (HIDAYATI et al., 2020). Em alguns casos, o gerenciamento desses produtos é absolutamente necessário para prevenir perdas massivas da produção, sendo importante associar o uso dos mesmos com a demanda biológica dos organismos (POERSCH et al., 2020). Caso contrário, a saúde dos camarões e dos consumidores podem ser comprometidas (DIETRICH et al., 2021).

Gimeno-García et al. (1996) determinando as concentrações de metais traço em fertilizantes, observaram altas concentrações de Cu e Zn (12,5 e 50 mg/kg, respectivamente) no superfosfato. O sulfato de Cu, um algicida, comumente aplicado em viveiros para reduzir o fitoplâncton também é fonte significativa deste metal em ambientes aquícolas (BOYD, 2003).

A proporção de aplicação de sulfato de Cu varia entre 0,025 a 2 mg/l e é diretamente relacionada com a alcalinidade total (BOYD, 2003). Nas fazendas de camarão é aplicado frequentemente quantidades em excesso, o que pode resultar em concentrações significativas de Cu na água e sua toxicidade passa a ser, portanto, uma preocupação primária (HIDAYATI et al., 2020).

Elevados níveis de metais associados com a exúvia, também, podem ser uma importante fonte de Cu e Zn para crustáceos (SHI et al., 2021). Os metais podem associar-se com o exoesqueleto de crustáceos através de processos de adsorção. A quitina e proteínas associadas têm muitos grupos contendo hidroxilas, imidazol e sulfidrilas que podem servir como sítios de ligação para metais catiônicos (DA SILVA et al., 2021). O chumbo (Pb) afeta a sobrevivência de camarões marinhos *Litopenaeus schmitti* influenciando seu crescimento e reprodução (SANTOS et al., 2014).

Wu e Chen (2005) demonstraram em estudo realizado com *L. vannamei*, que o hepatopâncreas é o órgão onde a acumulação de Al e Cd é mais acentuada, a exposição a estes metais provoca alterações de comportamento e da reprodução. A exposição de *M. rosenbergii* ao Cd e Al por 3 h na concentração de 50 mg/L provocou danos irreversíveis nas brânquias e hepatopâncreas (LIU et al., 2021). Em *L. vannamei*, a exposição ao Cr provoca aumento nas células b do hepatopâncreas, estas são responsáveis por atuarem na digestão, provocando alterações na alimentação destes animais (JIAO et al., 2020).

A toxicidade aguda do Ni provoca alterações branquiais e mortalidade em larvas de camarão marinho *Penaeus monodon* (NAGARJUNA et al., 2019). Em *P. monodon*, o Hg é um importante inibidor de regeneração dos apêndices, da maturação ovárica, modifica o comportamento normal de natação, produz severas alterações morfológicas nos embriões, retarda a muda e o crescimento e, provoca alta percentagem de mortalidade nas larvas (HARAYASHIKI et al., 2018). Esses sítios são comuns na epicutícula de crustáceos, aumentando o potencial para adsorção (DA SILVA et al., 2021).

Quando ocorre a ecdise (muda) em águas contaminadas, os metais na fase aquosa podem ser adsorvidos diretamente na nova superfície exposta da procutícula da exúvia (CANDRA et al., 2019). Os metais adsorvidos podem ser bioacumulados se os

organismos ingerirem essa exúvia (ARISEKAR et al., 2022). O acúmulo de metais em crustáceos afeta sua ecologia devido à necessidade de maior energia dispendida com a excreção e desintoxicação desses metais (YU et al., 2020). Dependendo do nível de concentração dos metais no ambiente pode haver uma diminuição de crescimento, de reprodução (DA SILVA et al., 2021) e da população de uma dada espécie.

Os crustáceos são capazes de regular as concentrações desses metais em seu corpo (DA SILVA et al., 2021). Podem manter pequenas quantidades na forma metabolicamente disponível para suas necessidades bioquímicas e o excesso é detoxificado em formas químicas metabolicamente inertes e então estocadas temporariamente ou permanentemente no corpo (ABDOLHAY et al., 2020; SHALINI et al., 2020). A incorporação de metais por crustáceos é regulada por mudanças físico-químicas e por mecanismos fisiológicos, este último variando interespecificamente (ALLEN et al., 2021; JIAO et al., 2020).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Analisar a concentração de ferro, zinco, cádmio e alumínio em camarões adultos *Macrobrachium amazonicum* de acordo com o sexo em diferentes ambientes de estudo da foz do rio Amazonas.

3.2 Objetivos específicos

Determinar as diferenças entre sexo, peso, comprimento, local e concentração tecidual dos minerais e metais estudados (Fe, Zn, Al e Cd).

Interpretar os resultados e verificar a influência do Fe, Zn Al e Cd na qualidade dos reprodutores e para a alimentação humana.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBASPOUR, N., HURRELL, R., & KELISHADI, R. Review on iron and its importance for human health. **Journal of Research in Medical Sciences: the Official Journal of Isfahan University of Medical Sciences**, v. 19, n. 2, p. 164, 2014.
- ABDOLHAY, H. A., KAZEMZADEH KHOEI, J., RAEISI SARASIAB, A., BANIAMAM, M., & HOSSEINI, M. Bioaccumulation and distribution of heavy metals (Se, As and Pb) in muscle, gill and hepatopancreas of blue crab *Portunus pelagicus*, Bushehr Coast, Persian Gulf. **Iranian Journal of Fisheries Sciences**, v. 19, n. 5, p. 2735-2742, 2020.

- ADEKANMBI, A. O., OLAWUNI, O. G., & OLAPOSI, A. V. Metal contamination and coexistence of metal and antibiotic resistance in *Vibrio species* recovered from aquaculture ponds with and without history of antibiotic usage in Southwest Nigeria. **Bulletin of the National Research Centre**, v. 45, n. 1, p. 1-10, 2021.
- ADIMALLA, N., CHEN, J., & QIAN, H. Spatial characteristics of heavy metal contamination and potential human health risk assessment of urban soils: A case study from an urban region of South India. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 194, p. 110406, 2020.
- AGUIAR, F. P. Dinâmica populacional e hábitos alimentares em *Macrobrachium* sob influência de barragem. 2016. 121 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.
- AHMAD, A. L., CHIN, J. Y., HARUN, M. H. Z. M., & LOW, S. C. Environmental impacts and imperative technologies towards sustainable treatment of aquaculture wastewater: A review. **Journal of Water Process Engineering**, v. 46, p. 102-553, 2022.
- ALBUQUERQUE, F. E. A., MINERVINO, A. H. H., MIRANDA, M., HERRERO-LATORRE, C., JÚNIOR, R. A. B., OLIVEIRA, F. L. C., & LÓPEZ-ALONSO, M. Toxic and essential trace element concentrations in the freshwater shrimp *Macrobrachium amazonicum* in the Lower Amazon, Brazil. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 86, p. 103361, 2020.
- ALCÂNTARA, G. L. C., & KATO, H. C. A. Boas práticas de manipulação na comercialização do camarão fresco em feiras livres de Belém, PA. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v. 3, n. 3, p. 139-148, 2016.
- ALENGEBAWY, A., ABDELKHALEK, S. T., QURESHI, S. R., & WANG, M. Q. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. **Toxics**, v. 9, n. 3, p. 42, 2021.
- AL-GHAFARI, A., ELMORSY, E., FIKRY, E., ALROWAILI, M., & CARTER, W. G. The heavy metals lead and cadmium are cytotoxic to human bone osteoblasts via induction of redox stress. **PLoS One**, v. 14, n. 11, p. e0225341, 2019.
- ALI, H., & KHAN, E. Bioaccumulation of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in freshwater fish. Risk to human health. **Environmental Chemistry Letters**, v. 16, n. 3, p. 903-917, 2018.
- ALI, Z., YOUSAFZAI, A. M., SHER, N., MUHAMMAD, I., NAYAB, G. E., AQEEL, S. A. M., ... & KHAN, H. Toxicity and bioaccumulation of manganese and chromium in different organs of common carp (*Cyprinus carpio*) fish. **Toxicology Reports**, v. 8, p. 343-348, 2021.
- AL-KSHAB, A. A., & YEHYA, O. Q. Determination of the lethal concentration 50% (LC₅₀) of lead chloride and its accumulation in different organs of *Gambusia affinis* fish. **Iraqi Journal of Veterinary Sciences**, v. 35, n. 2, p. 361-367, 2021.
- ALLEN, G. J. P., & WEIHRAUCH, D. Exploring the versatility of the perfused crustacean gill as a model for transbranchial transport processes. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 254, p. 110572, 2021.

- AMINI, S., TADAYON, M., LOKE, J. J., KUMAR, A., KANAGAVEL, D., LE FERRAND, H., ... & MISEREZ, A. A diecast mineralization process forms the tough mantis shrimp dactyl club. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 116, n. 18, p. 8685-8692, 2019.
- ARAUJO, M. C. D., & VALENTI, W. C. Effects of feeding strategy on larval development of the Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, p. 85-90, 2017.
- ARISEKAR, U., SHAKILA, R. J., SHALINI, R., JEYASEKARAN, G., PADMAVATHY, P., HARI, M. S., & SUDHAN, C. Accumulation potential of heavy metals at different growth stages of Pacific white leg shrimp, *Penaeus vannamei* farmed along the Southeast coast of Peninsular India: A report on ecotoxicology and human health risk assessment. **Environmental Research**, v. 212, p. 113105, 2022.
- ATES, A., & HATIPOGLU, H. Evaluation of Stability and Catalytic Activity in Supercritical Water of Zinc Oxide Samples Prepared by the Sol-Gel Method. **Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials**, v. 31, n. 12, p. 4581-4593, 2021.
- AUGUSTO, A., & MASUI, D. C. Sex and reproductive stage differences in the growth, metabolism, feed, fecal production, excretion and energy budget of the Amazon River prawn (*Macrobrachium amazonicum*). **Marine and Freshwater Behaviour and Physiology**, v. 47, n. 6, p. 373-388, 2014.
- AUGUSTO, A., & VALENTI, W. C. Are there any physiological differences between the male morphotypes of the freshwater shrimp *Macrobrachium amazonicum* (Caridea: Palaemonidae)? **Journal of Crustacean Biology**, v. 36, n. 5, p. 716-723, 2016.
- AVRAM, O. R., CARAGEA, G., & VARZARU, C. A. Copper and its role in the human body - the importance of establishing copper concentrations in the body. **Romanian Journal of Military Medicine**, v. 124, n. 2, p. 254-260, 2021.
- AZEVEDO, J. S. D., & SANTOS, J. S. D. Uso de armadilha sintética para pesca sustentável de camarão amazônico (*Macrobrachium amazonicum*) no município de Mazagão, Amapá. 2019. 34 p. Dissertação - Universidade Federal do Amapá, UNIFAP, 2019.
- BACCHELLA, C., NICOLIS, S., DELL'ACQUA, S., RIZZARELLI, E., MONZANI, E., & CASELLA, L. Membrane binding strongly affecting the dopamine reactivity induced by copper prion and copper/amyloid- β (A β) peptides. A ternary copper/A β /prion peptide complex stabilized and solubilized in sodium dodecyl sulfate micelles. **Inorganic Chemistry**, v. 59, n. 1, p. 900-912, 2019.
- BARBOSA, L. M. C., & SCARPASSA, V. M. Comportamento hematófago de espécies de *Anopheles* (Diptera: Culicidae) no distrito de Ilha de Santana, estado do Amapá, Amazônia oriental brasileira. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 65, 2021.
- BASTOS, A. M., LIMA, J. F., & TAVARES-DIAS, M. Effects of environmental light colors on the larviculture of the Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum*. **Aquaculture International**, v. 27, n. 5, p. 1525-1534, 2019.

- BASU, S., CHANDA, A., GOGOI, P., & BHATTACHARYYA, S. Organochlorine pesticides and heavy metals in the zooplankton, fishes, and shrimps of tropical shallow tidal creeks and the associated human health risk. **Marine Pollution Bulletin**, v. 165, p. 112-170, 2021.
- BAUTISTA-COVARRUBIAS, J. C., VALDEZ-SOTO, I. E., AGUILAR-JUÁREZ, M., ARREOLA-HERNÁNDEZ, J. O., SOTO-JIMÉNEZ, M. F., SOTO-RODRÍGUEZ, S. A., ... & FRÍAS-ESPERICUETA, M. G. Cadmium and copper mixture effects on immunological response and susceptibility to *Vibrio harveyi* in white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 129, p. 145-151, 2022.
- BA-YOSHIOKA, E. T., ALMEIDA, R. S., GEMAQUE, S. R. F., BRASILIENSE, A. R. P., SILVA, R. S., & MARINHO, R. G. B. Substituição parcial da ração comercial por soja e milho cozidos e sua influência sobre o cultivo de híbridos tambatingas. **Revista Biota Amazônia**, v.5, p.61-67, 2015.
- BEZERRA, E. D. S. Determinação de metais na água disponibilizada para consumo humano no município de Governador Valadares-MG. 2016. 121 p. Dissertação, 2016. Universidade de Brasília.
- BHATT, R., HOSSAIN, A., & SHARMA, P. Zinc biofortification as an innovative technology to alleviate the zinc deficiency in human health: A review. **Open Agriculture**, v. 5, n. 1, p. 176-187, 2020.
- BIDONE, E. D., CASTILHOS, Z. C., SANTOS, T. J. S., SOUZA, T. D., & LACERDA, L. D. D. Fish contamination and human exposure to mercury in Tartarugalzinho River, Amapá State, Northern Amazon, Brazil. A screening approach. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 97, n. 1, p. 9-15, 1997.
- BONSIGNORE, M., MANTA, D. S., MIRTO, S., QUINCI, E. M., APE, F., MONTALTO, V., ... & SPROVIERI, M. Bioaccumulation of heavy metals in fish, crustaceans, molluscs and echinoderms from the Tuscany coast. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 162, p. 554-562, 2018.
- BOSSAK, K., DREW, S. C., STEFANIAK, E., PŁONKA, D., BONNA, A., & BAL, W. The Cu (II) affinity of the N-terminus of human copper transporter CTR1: Comparison of human and mouse sequences. **Journal of Inorganic Biochemistry**, v. 182, p. 230-237, 2018.
- BOUDOUR-BOUCHEKER, N., BOULO, V., CHARMANTIER-DAURES, M., ANGER, K., CHARMANTIER, G., & LORIN-NEBEL, C. Osmoregulation in larvae and juveniles of two recently separated *Macrobrachium* species: expression patterns of ion transporter genes. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 195, p. 39-45, 2016.
- BOYD, C.E. Guidelines for aquaculture effluent management at farm-level. **Aquaculture**, n. 226, p. 101-112, 2003.
- BRAZAO, C. C., KRACIZY, R. O., DUTRA, F. M., DE OLIVEIRA, A. P., DA SILVA, R. I., & BALLESTER, E. L. C. Combined and isolated effects of ammonia and nitrite on Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) juveniles. **Aquaculture**, v. 533, p. 736204, 2021.
- BRÁZOVÁ, T., ŠALAMÚN, P., MIKLISOVÁ, D., ŠESTINOVÁ, O., FINDORÁKOVÁ, L., HANZELOVÁ, V., & OROS, M. Transfer of heavy metals

- through three components: sediments, plants and fish in the area with previous mining activity. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 106, n. 3, p. 485-492, 2021.
- BRITO, E. D. J. Avaliação preliminar da degradação ambiental por sensoriamento remoto das áreas de concessão mineral para extração de ouro no distrito garimpeiro de Lourenço/AP. 2021. 61 p. Dissertação - Universidade Federal do Amapá, UNIFAP, 2021.
- CAI, H. R., YANG, Q. H., TAN, B. P., DONG, X. H., CHI, S. Y., LIU, H. Y., & ZHANG, S. Effects of dietary manganese source and supplemental levels on growth performance, antioxidant enzymes activities, tissue Mn concentrations and cytosolic manganese superoxide dismutase (cMnSOD) mRNA expression level of juvenile *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture Nutrition**, v.23, p.603-610, 2017.
- CANAFÍSTULA, F. P., CINTRA, I. H. A., DE ARAÚJO SILVA, K. C., ARAGÃO, J. A. N., & DOS SANTOS, M. A. S. Organização social profissional dos pescadores artesanais da foz do rio Amazonas, Amapá, Brasil. **Guaju**, v. 6, n. 2, p. 124-139, 2021.
- CANDRA, Y. A., SYAIFULLAH, M., IRAWAN, B., PUTRANTO, T. W. C., HIDAYATI, D., & SOEGIANTO, A. Concentrations of metals in mantis shrimp *Harpiosquilla harpax* (de Haan, 1844) collected from the eastern region of Java Sea Indonesia, and potential risks to human health. **Regional Studies in Marine Science**, v. 26, p. 100507, 2019.
- CAROCCI, A., CATALANO, A., SINICROPI, M. S., & GENCHI, G. Oxidative stress and neurodegeneration: the involvement of iron. **Biometals**, v. 31, n. 5, p. 715-735, 2018.
- CARVALHO, M. M., LIRA, V. S., WATANABE, C. H., & FRACÁCIO, R. Estudo da toxicidade de metais (zinco e cádmio) sobre *Ceriodaphnia dubia*, por multivias de exposição e recuperação biológica de descendentes. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 961-968, 2018.
- CERQUEIRA, A., ROMERO-GAVILÁN, F., GARCÍA-ARNÁEZ, I., MARTÍNEZ-RAMOS, C., OZTURAN, S., ILOORO, I., ... & SUAY, J. Bioactive zinc-doped sol-gel coating modulates protein adsorption patterns and in vitro cell responses. **Materials Science and Engineering: C**, v. 121, p. 111839, 2021.
- CHAGAS, A. L. K., & FERNANDES, G. D. S. T. Qualidade microbiológica do camarão *Macrobrachium amazonicum* comercial. **Biológicas & Saúde**, v. 9, n. 30, 2019.
- CHAGAS, M. A. A geopolítica do garimpo do Lourenço, Norte do Amapá: trajetória, contradições e insustentabilidade. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 39, p. 1-18, 2019.
- CHAGAS, M. A. Amapá - A mineração e o discurso da sustentabilidade: de Augusto Antunes a Eike Batista. Garamond, 2019.
- CHANDRAPALAN, T., & KWONG, R. W. Functional significance and physiological regulation of essential trace metals in fish. **Journal of Experimental Biology**, v. 224, n. 24, p. jeb238790, 2021.

- CHAVES, E. P., & NASCIMENTO, S. C. C. A utilização de resíduos da agroindústria na remoção de metais pesados em efluentes contaminados. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 2, n. 1, 2023.
- CHERKASOVA, E. I., REBEZOV, M. B., SHARIATI, M. A., KHARYBINA, M. M., & MURADOVA, Z. V. Monitoring the stability of the results of studies of chilled river fish for cadmium content using the method of additions. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, p. 052-060, 2021.
- CHOI, C. Y., LI, Z., SONG, J. A., & PARK, Y. S. Water hardness can reduce the accumulation and oxidative stress of zinc in goldfish, *Carassius auratus*. **Antioxidants**, v. 11, n. 4, p. 715, 2022.
- CHOI, S., LIU, X., & PAN, Z. Zinc deficiency and cellular oxidative stress: prognostic implications in cardiovascular diseases. **Acta Pharmacologica Sinica**, v. 39, n. 7, p. 1120-1132, 2018.
- COSTA, B. N. S., ALMEIDA, H. P., DA SILVA, B. C. P., DE FIGUEIREDO, L. G., DE OLIVEIRA, A. M., & LIMA, M. D. O. *Macrobrachium amazonicum* (Crustacea, Decapoda) used to biomonitor mercury contamination in rivers. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 78, n. 2, p. 245-253, 2020.
- COSTA, M. D. S., VIANA, L. F., & CARDOSO, C. A. L. Landscape composition and inorganic contaminants in water and muscle tissue of *Plagioscion squamosissimus* in the Araguari River (Amazon, Brazil). **Environmental Research**, v. 208, p. 112-691, 2022.
- CUNHA, A. C., & COUTO, A. (Orgs). Diagnóstico rápido participativo da Bacia do Igarapé da Fortaleza-AP. SETEC/GEA. 55p. 2003.
- CUNHA, A. C., CUNHA, H. F. A., BRASIL JR., A. C. P., DANIEL, L. A., & SCHULZ, H. E. Qualidade microbiológica da água de rios de áreas urbanas e periurbanas no baixo Amazonas: o caso do Amapá. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 4, p. 322-328, 2004.
- DA SILVA, C. S., JOÃO, J. J., SILVEIRA, M. H. L., SANTA CATARINA, U. N. I. S. U. L., MOREIRA, A. A., & DE JESUS, P. C. Trace metal levels in muscles and exoskeleton of pink shrimp (*Penaeus brasiliensis* and *paulensis*) from a subtropical coastal region, Laguna estuarine system, Brazil. **Ecosystems**, v. 9, n. 1, 2021.
- DA SILVA COUTINHO, E. C., DA COSTA SOUSA, Á. M., FARIAS, A. L. A., DA SILVA COUTINHO, S. H., MADUREIRA, N. L. V., DE SOUSA CASTRO, H., & QUARESMA, A. F. Grandes projetos minero-metalúrgicos e seus danos socioambientais: a história do distrito industrial de Barcarena. **Revista Foco**, v. 16, n. 3, p. e1331-e1331, 2023.
- DA SILVA, L. D., TAKIYAMA, L. R., DE SOUZA, P. L., RIBEIRO, M. W. S., ARIDE, P. H. R., LAVANDER, H. D., ... & DE OLIVEIRA, A. T. Avaliação da qualidade da água em pisciculturas de Macapá, Amapá. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 2, p. 402-417, 2020.
- DA SILVA, L. M. A., DE FARIAS LIMA, J., & TAKIYAMA, L. R. O padrão de recrutamento de *Macrobrachium amazonicum* (Crustacea, Decapoda, Palaemonidae) em duas áreas da foz do Rio Amazonas, Estado do Amapá, Brasil. **Biota Amazônia**, v. 6, n. 3, p. 97-101, 2016.

- DALL, W., & MORIARTY, D. J. W. Functional aspects of nutrition and digestion: the midgut. In: BLISS, D. E.; MANTEL, L. H. Functional aspects of nutrition and digestion. **The Biology of Crustacea**, v. 5, p. 215-261, 1983.
- DAMASCENO, M. D. C. S., RIBEIRO, H. M. C., TAKIYAMA, L. R., & DE PAULA, M. T. Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais do Rio Amazonas na orla da cidade de Macapá, Amapá, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, p. 598-613, 2015A.
- DAMASCENO, M. D. C. S., RIBEIRO, H. M. C., TAKIYAMA, L. R., & DE PAULA, M. T. Seasonal evaluation of the quality of surface waters of the Amazon River on the waterfront of Macapá City, Amapá, Brazil. **Ambiente e Água- Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 10, n. 3, p. 598-613, 2015B.
- DA SILVA, P. B., DAFRÉ, A. L., SILVA, A. D., CADORIN, D. I., MATTOS, J. J., BASCUNÁN, V. L. A. F., ... & FRACALOSSO, D. M. Dietary supplementation with increasing doses of an organic micromineral complex on juvenile Nile tilapia: Effects on the antioxidant defense system and tissue deposition. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 260, p. 111-139, 2021.
- DAVID, F. S., PROENÇA, D. C., FLICKINGER, D. L., WOLFF BUENO, G., & VALENTI, W. C. Carbon budget in integrated aquaculture systems with Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Amazon river prawn (*Macrobrachium amazonicum*). **Aquaculture Research**, v. 52, n. 11, p. 5155-5167, 2021.
- DAVIS, D. A. Dietary mineral requirements of *Penaeus vannamei*: Evaluation of the essentiality for thirteen minerals and the requirements for calcium, phosphorus, copper, iron, zinc and selenium. Thesis (PhD) - Texas A&M University, Austin: College Station, Texas, 1990.
- DE ALMEIDA, R. P., FERRARI, R. G., KATO, L. S., HAUSER-DAVIS, R. A., & CONTE-JUNIOR, C. A. A systematic review on metal dynamics and marine toxicity risk assessment using crustaceans as bioindicators. **Biological Trace Element Research**, v. 200, p. 1-23, 2021.
- DE ANDRADE, L. Y. V., FLORES, I. G., & DANTAS-FILHO, J. V. Presença da espécie exótica *Macrobrachium rosenbergii* causa riscos ao camarão *Macrobrachium amazonicum* nativo da amazônia. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 683-710, 2020.
- DE ARAUJO, M. C., & VALENTI, W. C. Efeito da intensidade luminosa no desenvolvimento larval do camarão-da-Amazônia, *Macrobrachium amazonicum*. **Boletim do Instituto de Pesca**, v.40, n.2, p.155-164, 2018.
- DE ARAUJO, M. C., & VALENTI, W. C. Feeding habit of the Amazon river prawn *Macrobrachium amazonicum* larvae. **Aquaculture**, v. 265, n. 1-4, p. 187-193, 2007.
- DE ARAUJO, M. C., & VALENTI, W. C. Manejo alimentar de pós-larvas do camarão-da-amazônia, *Macrobrachium amazonicum*, em berçário I. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 27, n. 1, p. 67-72, 2005.

- DE, C., & DE CARVALHO, H. A. Morfologia do aparelho reprodutor de *Macrobrachium acanthurus* (Wiegmann, 1836) (Crustacea, Decapoda, Palaemonidae). I: masculino. **Pascal and Francis Bibliographic Databases**, v. 32, n. 7, p. 941-945, 1980.
- DE CAMPOS, F. A., & PASSOS, D. S. Domínios do capital internacional na Amazônia: a relação Icomi, Bethlehem Steel e Eximbank nos contratos de exploração de manganês no Amapá (1946-1954). **Espacio Abierto: Caderno Venezolano de Sociología**, v. 32, n. 3, p. 90-109, 2023.
- DE FARIAS, P. W. M., CORRÊA, J. M., FERREIRA, S. D., DE FREITA GUEDES, G., MENDONÇA, R. P., & DE FARIAS, P. J. Percepção de impactos sobre a pesca artesanal: caminhos para o manejo dos recursos pesqueiros do Amapá, Brasil. **Ethnoscientia-Brazilian Journal of Ethnobiology and Ethnoecology**, v. 6, n. 1, p. 135-162, 2021.
- DE FREITAS, B. F., & JIACOMETI, V. Certificação de sustentabilidade da aquicultura: uma análise de mercado com consumidores. **Ciência & Tecnologia**, v. 15, n. 1, p. e1516-e1516, 2023.
- DE GROOTE, H., TESSEMA, M., GAMEDA, S., & GUNARATNA, N. S. Soil zinc, serum zinc, and the potential for agronomic biofortification to reduce human zinc deficiency in Ethiopia. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1-11, 2021.
- DE LIMA, M. W., DA SILVEIRA, P. W. V., DE SOUZA, E. S., TEIXEIRA, R. A., DA CONCEIÇÃO, P. D., FAIAL, K. D. C. F., ... & FERNANDES, A. R. Bioaccumulation and human health risks of potentially toxic elements in fish species from the southeastern Carajás Mineral Province, Brazil. **Environmental Research**, v. 204, p. 112024, 2022.
- DE LOS RÍOS-ESCALANTE, P., Baaloudj, A., Encina-Montoya, F., Vega, R., & Mardones, A. Utilización de Modelos nulos para la comprensión de las comunidades de crustáceos en aguas continentales de las cuencas de San Pedro de Atacama y Salar de Atacama, Región de Antofagasta, Chile. **Idesia (Arica)**, v. 41, n. 1, p. 105-109, 2023.
- DE OLIVEIRA, M. J., & MATHIS, A. O recente Ciclo de Mineração no estado Amapá: uma análise preliminar com base na Produção Mineral, Arrecadação de Royalties e Taxa Anual por Hectare (Paper 363). **Papers do NAEA**, v. 26, n. 1, 2017.
- DESHIMARU, O., & YONE, Y. Effect of dietary carbohydrate sources on the growth and feed efficiency of prawn. **Nippon Suisan Gakkaishi**, v.44, p.1161-1163, 1978.
- DEVI, B. C., NANDAKISHORE, T., BASAR, G., DEVI, N., JAMIR, S., & SINGH, M. Zinc in Human health. **Journal of Dental and Medical Sciences**, v. 13, n. 7, p. 18-23, 2014.
- DEVLIN, T. M. Manual de Bioquímica com Correlações Clínicas. 6. ed. Ed. Edgard Blucher: LTDA, 2007.
- DIETRICH, M., & AYERS, J. Geochemical partitioning and possible heavy metal (loid) bioaccumulation within aquaculture shrimp ponds. **Science of the Total Environment**, v. 788, p. 147-777, 2021.
- DIGUILIO, K. M., VALENZANO, M. C., RYBAKOVSKY, E., & MULLIN, J. M. Cobalt chloride compromises transepithelial barrier properties of CaCO₂ e human

- gastrointestinal epithelial cell layers. **BMC Gastroenterology**, v. 18, n. 1, p. 1-11, 2018.
- DO, P. V., NGUYEN, S. T., CHAU, T. T., TK, L. N., TOUCHET, A., GUTTER, G., ... & PHAN, H. Growth assessment of various formulae of essential minerals and trace elements on whiteleg shrimp at different salinities. **Vietnam Journal of Biotechnology**, v. 20, n. 1, p. 125-133, 2022.
- DONADT, C., COOKE, C. A., GRAYDON, J. A., & POESCH, M. S. Mercury bioaccumulation in stream fish from an agriculturally-dominated watershed. **Chemosphere**, v. 262, p. 128059, 2021.
- DOS SANTOS B. C. C., DIAS, A. J. S., FACANHA, N. P. B., & DA SILVA, G. A. Avaliação comparativa do potencial bioindicador do *Macrobrachium amazonicum* em ambientes aquáticos. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. e03088-e03088, 2023.
- DOS SANTOS, R. O., SOARES, R. N., RABELO, F. G., & DE ABREU, J. C. Extensão rural na agricultura familiar: As características de uma família agrícola no município de Santana, Amapá, Brasil. **Revista Ciência em Extensão**, v. 14, n. 4, p. 97-112, 2018.
- DRĄG-KOZAK, E., ŁUSZCZEK-TROJNAR, E., SOCHA, M., & BOJARSKI, B. Effects of melatonin on cadmium accumulation and haematological parameters in cadmium intoxicated Prussian carp (*Carassius gibelio* B.). **Annals of Animal Science**, v. 21, n. 3, p. 899-923, 2021.
- EBRAHIMI, M., KHALILI, N., RAZI, S., KESHAVARZ-FATHI, M., KHALILI, N., & REZAEI, N. Effects of lead and cadmium on the immune system and cancer progression. **Journal of Environmental Health Science and Engineering**, v. 18, n. 1, p. 335-343, 2020.
- EL ATI-HELLAL, M., & HELLAL, F. Heavy metals in the environment and health impact. **Environmental Health**, p. 51, 2021.
- EL-RAMADY, H., ABDALLA, N., ALSHAAL, T., DOMOKOS-SZABOLCSY, E., ELHAWAT, N., PROKISCH, J., ... & SHAMS, M. S. Selenium in soils under climate change, implication for human health. **Environmental Chemistry Letters**, v. 13, n. 1, p. 1-19, 2015.
- EL-RAMADY, H., FAIZY, S. E. D., ABDALLA, N., TAHA, H., DOMOKOS-SZABOLCSY, É., FARI, M., ... & BREVIK, E. C. Selenium and nano-selenium biofortification for human health: Opportunities and challenges. **Soil Systems**, v. 4, n. 3, p. 57, 2020.
- EMENIKE, E. C., IWUOZOR, K. O., & ANIDIOBI, S. U. Heavy metal pollution in aquaculture: sources, impacts and mitigation techniques. **Biological Trace Element Research**, p. 1-17, 2021.
- ENGWA, G. A., FERDINAND, P. U., NWALO, F. N., & UNACHUKWU, M. N. Mechanism and health effects of heavy metal toxicity in humans. **Poisoning in the Modern World-New Tricks for an Old Dog**, v. 10, p. 70-90, 2019.
- FALEIROS, R. O., & MCNAMARA, J. C. Osmoregulatory capacity and gill ultrastructure in the diadromous freshwater shrimp, *Macrobrachium amazonicum*

- (Crustacea, Decapoda). **Comparative Biochemistry and Physiology. Part A**, v. 148, p. S122, 2007.
- FAO - Food and Agriculture Organization. Global Aquaculture Production 1950-2020. Rome, Italy, 2022. FAO Fishery Statistical Collections. Disponível em: <https://www.fao.org/fishery/en/statistics/global-aquaculture-production/query/en>. Acesso em: 23 set. 2022.
- FARIA, M, Bastos, M. C., de Oliveira, A. L., Rocha, K. M., de Souza Costa, E., Oliveira, M. H. M. J., ... & Filha, A. J. A. B. Intoxicação por metais pesados na mineração e seu impacto na saúde humana. **REVISTA FOCO**, v. 16, n. 6, p. e2319-e2319, 2023.
- FERNANDES, R. M. S., & DHENIN, M. P. P. Análise da atividade neoextrativista da mineração de ouro no estado do Amapá (2000-2020). **Confins. Revue Franco-Brésilienne de Géographie/Revista Franco-Brasileira de Geografia**, n. 54, 2022.
- FERNANDES, R. T. V, R. T. V., Pinto, A. R. M., Nascimento, L., Oliveira, J. C. D. D., & Novaes, J. L. C. Impacto da carcinicultura no manguezal do rio das Conchas, Porto do Mangue, Rio Grande do Norte. **Sociedade & Natureza**, v. 30, p. 64-84, 2023.
- FERREIRA, D. S. D. S., TORRES, M. A. A., SILVA, I. R. M., & DE OMENA MESSIAS, C. M. B. Consumo alimentar de ferro e cálcio por adolescentes em fase reprodutiva de uma escola pública de Petrolina–Pernambuco. **Revista de Atenção à Saúde**, v. 13, n. 45, p. 49-54, 2015.
- FERREIRA, M. A. P., B.M. RESENDE, M.Y.S. LIMA, S.S.D. SANTOS, AND R.M. ROCHA. The stage of ovarian development affects organ expression of vitellogenin as well as the morphometry and ultrastructure of germ cells in the freshwater prawn *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862). **Theriogenology**, v. 78, n. 5, p. 981-990, 2012.
- FERRO, J. P., FERRARI, L., & EISSA, B. L. Acute toxicity of cadmium to freshwater fishes and its relationship with body size and respiratory strategy. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 248, p. 109109, 2021.
- FLICKINGER, D. L., DANTAS, D. P., PROENÇA, D. C., DAVID, F. S., & VALENTI, W. C. Phosphorus in the culture of the Amazon River prawn (*Macrobrachium amazonicum*) and tambaqui (*Colossoma macropomum*) farmed in monoculture and in integrated multitrophic systems. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 51, n. 4, p. 1002-1023, 2020.
- FORNAROLI, R., IPPOLITO, A., TOLKKINEN, M. J., MYKRÄ, H., MUOTKA, T., BALISTRIERI, L. S., & SCHMIDT, T. S. Disentangling the effects of low pH and metal mixture toxicity on macroinvertebrate diversity. **Environmental Pollution**, v. 235, p. 889-898, 2018.
- FREIRE, J. L., BENTES, B., FONTES, V. B., & DA SILVA, E. M. Morphometric discrimination among three stocks of *Macrobrachium amazonicum* in the Brazilian Amazon. **Limnologica**, v. 64, p. 1-10, 2017.
- FREITAS, B. A. C. D. Restrição do crescimento extrauterino, amamentação e avaliação da adesão e influência da suplementação com microminerais nas prevalências de deficiências de ferro, zinco e vitamina A em prematuros. 2015. 127p. Tese (Doutorado em Ciência da Nutrição) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2015.

- FRISE, M. C., CHENG, H. Y., NICKOL, A. H., CURTIS, M. K., POLLARD, K. A., ROBERTS, D. J., ... & ROBBINS, P. A. Clinical iron deficiency disturbs normal human responses to hypoxia. **The Journal of Clinical Investigation**, v. 126, n. 6, p. 2139-2150, 2016.
- GARAI, P., BANERJEE, P., MONDAL, P., & SAHA, N. C. Effect of heavy metals on fishes: Toxicity and bioaccumulation. **Journal of Clinical Toxicology**. v. 18, 2021.
- GARCÍA-GÓMEZ, C., GARCÍA, S., OBRADOR, A., ALMENDROS, P., GONZÁLEZ, D., & FERNÁNDEZ, M. D. Effect of aging of bare and coated nanoparticles of zinc oxide applied to soil on the Zn behavior and toxicity to fish cells due to transfer from soil to water bodies. **Science of The Total Environment**, v. 706, p. 135713, 2020.
- GARLOCK, T., ASCHE, F., ANDERSON, J., CEBALLOS-CONCHA, A., LOVE, D. C., OSMUNDSSEN, T. C., & PINCINATO, R. B. M. Aquaculture: The missing contributor in the food security agenda. **Global Food Security**, p. 32, 2022.
- GELLI, R., RIDI, F., & BAGLIONI, P. The importance of being amorphous: calcium and magnesium phosphates in the human body. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 269, p. 219-235, 2019.
- GENCHI, G., CAROCCI, A., LAURIA, G., SINICROPI, M. S., & CATALANO, A. Human health and environmental toxicology. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 3, p. 679, 2020.
- GEPHART, J. A., & GOLDEN, C. D. Environmental and nutritional double bottom lines in aquaculture. **One Earth**, v. 5, n. 4, p. 324-328, 2022.
- GHARIBZAHEDI, S. M. T., & JAFARI, S. M. The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. **Trends in Food Science & Technology**, v. 62, p. 119-132, 2017.
- GICELLE, M. F., SILVA, Y. A., MENDES, J. C. D., PANTOJA, L. B., GONÇALVES, L. D., QUEIROZ, R. M., & ROCHA, M. A. P. Gonadal structure analysis of *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) from a wild population: a new insight into the morphotype characterization. **Aquaculture Research**, v. 40, n. 7, p. 798-803, 2009.
- GIMENO-GARCÍA, E., ANDREU, V., & BOLUDA, R. Heavy Metals Incidence in the application of inorganic fertilizers and pesticides to rice farming soils. **Environmental Pollution**, v. 92, n. 1, p. 19-25, 1996.
- GIRI, S. S., KIM, M. J., KIM, S. G., KIM, S. W., KANG, J. W., KWON, J., ... & PARK, S. C. Role of dietary curcumin against waterborne lead toxicity in common carp *Cyprinus carpio*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 219, p. 112318, 2021.
- GODSWILL, A. G., SOMTOCHUKWU, I. V., IKECHUKWU, A. O., & KATE, E. C. Health benefits of micronutrients (Vitamins and Minerals) and their associated deficiency diseases: A systematic review. **International Journal of Food Sciences**, v. 3, n. 1, p. 1-32, 2020.
- GONZÁLEZ-RUIZ, R., GRANILLO-LUNA, O. N., PEREGRINO-URIARTE, A. B., GÓMEZ-JIMÉNEZ, S., & YEPIZ-PLASCENCIA, G. Mitochondrial manganese superoxide dismutase from the shrimp *Litopenaeus vannamei*: Molecular characterization and effect of high temperature, hypoxia and reoxygenation on

- expression and enzyme activity. **Journal of Thermal Biology**, v. 88, p. 102519, 2020.
- GRANGEIRO, L. C. Avaliação do potencial biotecnológico para o tratamento de um minério de ouro de uma mina do estado do Amapá. 2016. 107 f. (Dissertação Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2016.
- GRASS, G., RENSING, C., & SOLIOZ, M. Metallic Copper as an Antimicrobial Surface. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 77, n. 5, p. 1541-1547, 2010.
- GROTT, S. L., FAÇANHA, E. B., FURTADO, R. N., CUNHA, H. F. A., & CUNHA, A. C. D. Variação espaço-sazonal de parâmetros da qualidade da água subterrânea usada em consumo humano em Macapá, Amapá, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, p. 645-654, 2018.
- GUABIRABA, I., EULER, A., & SANTANA, C. Plano de negócios para um viveiro do Bailique comunitário do Arquipélago. 2016., IR; EULER, A. M. C., SANTANA, C. J. Plano de negócios para um viveiro do Bailique comunitário do Arquipélago. 2016.
- GUO, Y. L., WU, P., JIANG, W. D., LIU, Y., KUANG, S. Y., JIANG, J., ... & FENG, L. The impaired immune function and structural integrity by dietary iron deficiency or excess in gill of fish after infection with *Flavobacterium columnare*: regulation of NF- κ B, TOR, JNK, p38MAPK, Nrf2 and MLCK signaling. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 74, p. 593-608, 2018.
- HACON, S. D. S., OLIVEIRA-DA-COSTA, M., GAMA, C. D. S., FERREIRA, R., BASTA, P. C., SCHRAMM, A., & YOKOTA, D. Mercury exposure through fish consumption in traditional communities in the Brazilian Northern Amazon. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 15, p. 5269, 2020.
- HAGHNIAN, R., RABBANI, A., VAJHADIN, F., KHAN, T., KOUSAR, R., KHAN, A. R., ... & WAHID, F. Anti-bacterial and wound healing-promoting effects of zinc ferrite nanoparticles. **Journal of Nanobiotechnology**, v. 19, n. 1, p. 1-15, 2021.
- HALEVAS, E., MITRAKAS, A., MAVROIDI, B., ATHANASIOU, D., GKIKI, P., ANTONIOU, K., ... & LIALIARIS, T. Structurally characterized copper-chrysin complexes display genotoxic and cytotoxic activity in human cells. **Inorganica Chimica Acta**, v. 515, p. 120062, 2021.
- HARA, T., YOSHIGAI, E., OHASHI, T., & FUKADA, T. Zinc transporters as potential therapeutic targets: An updated review. **Journal of Pharmacological Sciences**, v. 148, n. 2, p. 221-228, 2022.
- HARAYASHIKI, C. A. Y., REICHEL-TBRUSHETT, A., BUTCHER, P., & BENKENDORFF, K. Ingestion of inorganic mercury by juvenile black tiger prawns (*Penaeus monodon*) alters biochemical markers. **Ecotoxicology**, v. 27, n. 9, p. 1225-1236, 2018.
- HAYD, L., & ANGER, K. Reproductive and morphometric traits of *Macrobrachium amazonicum* (Decapoda: Palaemonidae) from the Pantanal, Brazil, suggests initial speciation. **Revista de Biología Tropical**, v. 61, n. 1, p. 39-57, 2013.
- HEMBROM, S., SINGH, B., GUPTA, S. K., & NEMA, A. K. A comprehensive evaluation of heavy metal contamination in foodstuff and associated human health

- risk: a global perspective. In: **Contemporary Environmental Issues and Challenges in Era of Climate Change**. Springer, Singapore, p. 33-63, 2020.
- HIDAYATI, N. V., PRUDENT, P., ASIA, L., VASSALO, L., TORRE, F., WIDOWATI, I., ... & DOUMENQ, P. Assessment of the ecological and human health risks from metals in shrimp aquaculture environments in Central Java, Indonesia. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 33, p. 41668-41687, 2020.
- HUANG, S., WANG, P., YAMAJI, N., & MA, J. F. Plant nutrition for human nutrition: hints from rice research and future perspectives. **Molecular Plant**, v. 13, n. 6, p. 825-835, 2020.
- HUANG, W., SHI, X., & WU, K. Human body burden of heavy metals and health consequences of Pb exposure in Guiyu, an E-waste recycling town in China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 23, p. 12428, 2021.
- IBRAHIM, A. N., KARPLUS, I., & VALENTI, W. C. Social interaction in males of the Amazon river prawn *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) (Decapoda, Palaemonidae). **Crustaceana**, v. 94, n. 3, p. 325-341, 2021.
- JAAFAR, A., DARCHEN, A., EL HAMZI, S., LAKBAIBI, Z., DRIOUICH, A., BOUSSAOUD, A., ... & HACHKAR, M. Optimization of cadmium ions biosorption by fish scale from aqueous solutions using factorial design analysis and Monte Carlo simulation studies. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 1, p. 104727, 2021.
- JIANG, X., WANG, J., PAN, B., LI, D., WANG, Y., & LIU, X. Assessment of heavy metal accumulation in freshwater fish of Dongting Lake, China: Effects of feeding habits, habitat preferences and body size. **Journal of Environmental Sciences**, v. 112, p. 355-365, 2022.
- JIAO, L. Nova visão sobre a base molecular da exposição ao cromo de *Litopenaeus vannamei* por análise de transcriptoma. **Boletim de Poluição Marinha**, v. 160, p. 111673, 2020.
- JIAO, L., DAI, T., LU, J., TAO, X., JIN, M., SUN, P., & ZHOU, Q. Effects of dietary manganese supplementation on growth performance, antioxidant capacity, immune function and intestinal microbiota in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture Nutrition**, v. 27, n. 6, p. 1972-1982, 2021.
- JIAO, L., DAI, T., LU, J., TAO, X., JIN, M., SUN, P., & ZHOU, Q. Excess iron supplementation induced hepatopancreas lipolysis, destroyed intestinal function in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Marine Pollution Bulletin**, v. 176, p. 113421, 2022.
- JOHANSSON, E., PRIETO-LINDE, M. L., & LARSSON, H. Locally adapted and organically grown landrace and ancient spring cereals - A unique source of minerals in the human diet. **Foods**, v. 10, n. 2, p. 393, 2021.
- JUNIOR, R. P. M., BASTOS, W. R., COUTINHO, I. E. C., & DE SOUSA FILHO, I. F. RISCOS Potenciais à Saúde Humana e Ambiental com o uso do Mercúrio na Atividade de Garimpo Artesanal de Ouro no Alto Rio Madeira, Amazônia Ocidental. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 23, n. 6, p. e12840-e12840, 2023.

- KALAJDA, M., KHAMITOVA, M., & BORISOVA, S. Some features of crustacean cultivation aquabiotechnology on the waters of energy facilities. In: **E3S Web of Conferences**. EDP Sciences. p. 01-047, 2021.
- KANAZAWA, A., TESHIMA, S., & SASAKI, M. Requirements of the Juvenile prawn for calcium, phosphorus, magnesium, potassium, copper, manganese and iron. **Memoirs of the Faculty of Fisheries, Kagoshima University**, v.33, p.63-71, 1984.
- KARAMZADEH, M., YAHYAVI, M., SALARZADEH, A. R., & NOKHBE ZAR, D. Effects of dietary selenium and zinc nanoparticles on growth performance, immune responses, and antioxidant enzymes activities of white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **Iranian Journal of Fisheries Sciences**, v. 21, n. 5, p. 1125-1140, 2022.
- KAUR, I., BEHL, T., ALEYA, L., RAHMAN, M. D., KUMAR, A., ARORA, S., & AKTER, R. Role of metallic pollutants in neurodegeneration: effects of aluminum, lead, mercury, and arsenic in mediating brain impairment events and autism spectrum disorder. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 8, p. 8989-9001, 2021.
- KAWAN, I. M., ARYA, I. W., & SADGUNA, D. N. The effect of salinity on fecundity and production of giant shrimp larvae (*Macrobrachium rosenbergii* de Man). In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, p. 033059, 2019.
- KHAN, R., INAM, M. A., ZAM, S. Z., PARK, D. R., & YEOM, I. T. Assessment of key environmental factors influencing the sedimentation and aggregation behavior of zinc oxide nanoparticles in aquatic environment. **Water**, v. 10, n. 5, p. 660, 2018.
- KOGA, A. Y., FELIX, J. C., SILVESTRE, R. G. M., LIPINSKI, L. C., CARLETTO, B., KAWAHARA, F. A., & PEREIRA, A. V. Evaluation of wound healing effect of alginate film containing *Aloe vera* gel and cross-linked with zinc chloride. **Acta Cirúrgica Brasileira**, v. 35, 2020.
- KOMIJANI, M., SHAMABADI, N. S., SHAHIN, K., EGHBALPOUR, F., TAHSILI, M. R., & BAHRAM, M. Heavy metal pollution promotes antibiotic resistance potential in the aquatic environment. **Environmental Pollution**, v. 274, p. 116569, 2021.
- KOMONWEERAKET, K., CETIN, B., BENSON, C. H., AYDILEK, A. H., & EDIL, T. B. Leaching characteristics of toxic constituents from coal fly ash mixed soils under the influence of pH. **Waste Management**, v. 38, p. 174-184, 2015.
- KUHN, D. D., LAWRENCE, A. L., & CROCKETT, J. Dietary toxicity of manganese to shrimp and its accumulation in bioflocs. **Aquaculture Nutrition**, v.23, p.1121-1127, 2017.
- KUMAR, N., CHANDAN, N. K., WAKCHAURE, G. C., & SINGH, N. P. Synergistic effect of zinc nanoparticles and temperature on acute toxicity with response to biochemical markers and histopathological attributes in fish. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 229, p. 108678, 2020.
- KUMAR, V., BARUAH, K., NGUYEN, D. V., SMAGGHE, G., VOSSSEN, E., & BOSSIER, P. Phloroglucinol-mediated Hsp70 production in crustaceans: protection against *Vibrio parahaemolyticus* in *Artemia franciscana* and *Macrobrachium rosenbergii*. **Frontiers in Immunology**, v. 9, p. 1091, 2018.

- LALL, S.P. The Minerals. In: Fish Nutrition. 2.ed, J.E.Halver, ed. New York: Academic, Press, p.219-257, 2002.
- LALL, S. P., & DUMAS, A. Nutritional requirements of cultured fish: Formulating nutritionally adequate feeds. In: **Feed and Feeding Practices in Aquaculture**. Woodhead publishing, p. 65-132, 2022.
- LALL, S. P., & KAUSHIK, S. J. Nutrition and metabolism of minerals in fish. **Animals**, v. 11, n. 09, p. 2711, 2021.
- LAUMONIER, T., RUFFIEUX, E., PACCAUD, J., KINDLER, V., & HANNOUCHE, D. In vitro evaluation of human myoblast function after exposure to cobalt and chromium ions. **Journal of Orthopaedic Research**, v. 38, n. 6, p. 1398-1406, 2020.
- LEE, Y. L., SHIH, Y. S., CHEN, Z. Y., CHENG, F. Y., LU, J. Y., WU, Y. H., & WANG, Y. J. Toxic effects and mechanisms of silver and zinc oxide nanoparticles on zebrafish embryos in aquatic ecosystems. **Nanomaterials**, v. 12, n. 4, p. 717, 2022.
- LEMO, D., & WEISSMAN, D. Moulting in the grow-out of farmed shrimp: a review. **Reviews in Aquaculture**, v. 13, n. 1, p. 5-17, 2021.
- LI, M., KUANG, S., KANG, Y., MA, H., DONG, J., & GUO, Z. Recent advances in application of iron-manganese oxide nanomaterials for removal of heavy metals in the aquatic environment. **Science of The Total Environment**, p. 153157, 2022.
- LI, X. F., WANG, P. F., FENG, C. L., LIU, D. Q., CHEN, J. K., & WU, F. C. Acute toxicity and hazardous concentrations of zinc to native freshwater organisms under different pH values in China. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 103, n. 1, p. 120-126, 2019.
- LIM, C. A., KHAN, J., CHELVA, E., KHAN, R., & UNSWORTH-SMITH, T. The effect of cobalt on the human eye. **Documenta Ophthalmologica**, v. 130, n. 1, p. 43-48, 2015.
- LIMA, D. P. Avaliação da contaminação por metais pesados na água e nos peixes da bacia do rio Cassiporé, Estado do Amapá, Amazônia, Brasil. 2013
- LIMA, J. D. F., SILVA, L. M. A. D., SILVA, T. C. D., GARCIA, J. D. S., PEREIRA, I. D. S., & AMARAL, K. D. S. Reproductive aspects of *Macrobrachium amazonicum* (Decapoda: Palaemonidae) in the state of Amapá, Amazon River mouth. **Acta Amazonica**, v. 44, p. 245-254, 2014.
- LINDER, M. C., WOOTEN, L., CERVEZA, P., COTTON, S., SHULZE, R., & LOMELI, N. Copper transport. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 65, n. 5, p. 965-971, 1998.
- LIU, S., HUANG, J., ZHANG, W., SHI, L., YI, K., YU, H., ... & LI, J. Microplastics as a vehicle of heavy metals in aquatic environments: A review of adsorption factors, mechanisms, and biological effects. **Journal of Environmental Management**, v. 302, p. 113995, 2022.
- LIU, X. Análise comparativa do transcriptoma das brânquias e hepatopâncreas de *Macrobrachium rosenbergii* expostos ao metal pesado Cádmio (Cd²⁺). **Relatórios Científicos**, v. 11, n. 1, p. 1-11, 2021.
- LIZAOLA-MAYO, B. C., DICKSON, R. C., LAM-HIMLIN, D. M., & CHASCSA, D. M. Exogenous copper exposure causing clinical wilson disease in a patient with copper deficiency. **BMC Gastroenterology**, v. 21, n. 1, p. 1-4, 2021.

- LOMBA, R. M. Modos de vida ribeirinho na comunidade Foz do Rio Mazagão-Mazagão (AP/Brasil). **Ateliê Geográfico**, v. 11, n. 1, p. 257-276, 2017.
- LUO, Z., TAN, X.-Y., ZHENG, J.-L., CHEN, Q.-L., & LIU, C.-X. Quantitative dietary zinc requirement of juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*, and effects on hepatic intermediary metabolism and antioxidant responses. **Aquaculture**, v.319, p.150-155, 2011.
- MA, C., IWAI-SHIMADA, M., TATSUTA, N., NAKAI, K., ISOBE, T., TAKAGI, M., ... & NAKAYAMA, S. F. Health risk assessment and source apportionment of mercury, lead, cadmium, selenium, and manganese in Japanese women: an adjunct study to the Japan environment and children's study. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 7, p. 2231, 2020.
- MAARES, M., & HAASE, H. A guide to human zinc absorption: General overview and recent advances of in vitro intestinal models. **Nutrients**, v. 12, n. 3, p. 762, 2020.
- MACIEL, C. R., & VALENTI, W. C. Effect of tank colour on larval performance of the Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum*. **Aquaculture Research**, v. 45, n. 6, p. 1041-1050, 2014.
- MAHJOUR, M., FADLAOUI, S., EL MAADOUDI, M., & SMIRI, Y. Mercury, lead, and cadmium in the muscles of five fish species from the mechraa-hammadi dam in Morocco and health risks for their consumers. **Journal of Toxicology**, v. 2021, 2021.
- MAIA, M. L., ALMEIDA, A., SOARES, C., SILVA, L. M., DELERUE-MATOS, C., CALHAU, C., & DOMINGUES, V. F. Minerals and fatty acids profile of Northwest Portuguese Coast Shrimps. **Journal of Food Composition and Analysis**, p. 104652, 2022.
- MANDIÁ, N., BERMEJO-BARRERA, P., HERBELLO, P., LÓPEZ-SUÁREZ, O., FRAGA, J. M., FERNÁNDEZ-PÉREZ, C., & COUCE, M. L. Human milk concentrations of minerals, essential and toxic trace elements and association with selective medical, social, demographic and environmental factors. **Nutrients**, v. 13, n. 6, p. 1885, 2021.
- MAO, C., SONG, Y., CHEN, L., JI, J., LI, J., YUAN, X., ... & THEISS, F. Human health risks of heavy metals in paddy rice based on transfer characteristics of heavy metals from soil to rice. **Catena**, v. 175, p. 339-348, 2019.
- MATOS, R. S., ATTAH-BAAH, J. M., MONTEIRO, M. D., COSTA, B. F., MÁCEDO, M. A., JUNIOR, R. S. S., ... & FERREIRA, N. S. Effect of the amapá-latex chelating agent contents on the microstructure and photocatalytic properties of Zn O nanoparticles. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 22, p. 2673-2689, 2023.
- MATHIS, A. Extração versus conservação-garimpagem de ouro e política de conservação no Estado do Amapá (Paper 289). **Papers do NAEA**, v. 21, n. 1, 2012.
- MATHIS, A., & DA SILVA, E. G. Lourenço - O desafio de se tornar sustentável. VILLABÔAS, R. C., ARANIBAR, A. M. Pequeña minería y artesanal em Iberoamérica: conflictos, ordenamiento, soluciones. Rio de Janeiro: CETEM/CYTED/CONACYT, p. 11-22, 2003.
- MAURYA, P. K., MALIK, D. S., YADAV, K. K., KUMAR, A., KUMAR, S., & KAMYAB, H. Bioaccumulation and potential sources of heavy metal contamination

- in fish species in River Ganga basin: Possible human health risks evaluation. **Toxicology Reports**, v. 6, p. 472-481, 2019.
- MAZZARELLI, C. C. M., SANTOS, M. R., AMORIM, R. V. & AUGUSTO, A. Effect of salinity on the metabolism and osmoregulation of selected ontogenetic stages of an amazon population of *Macrobrachium amazonicum* shrimp (Decapoda, Palaemonidae). **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, p. 372-379, 2015.
- McDONALD, S., CRESSWELL, T., & HASSELL, K. Bioaccumulation kinetics of cadmium and zinc in the freshwater decapod crustacean *Paratya australiensis* following multiple pulse exposures. **Science of the Total Environment**, v. 720, p. 137609, 2020.
- MEIRELES, A. L., VALENTI, W. C., & MANTELATTO, F. L. Variabilidade reprodutiva del camarón del río Amazonas, *Macrobrachium amazonicum* (Caridea, Palaemonidae): influencia del ciclo de vida en la fecundidad. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 41, n. 4, p. 718-731, 2013.
- MENEZES, O., YU, Y., ROOT, R. A., GAVAZZA, S., CHOROVER, J., SIERRA-ALVAREZ, R., & FIELD, J. A. Iron (II) monosulfide (FeS) minerals reductively transform the insensitive munitions compounds 2, 4-dinitroanisole (DNAN) and 3-nitro-1, 2, 4-triazol-5-one (NTO). **Chemosphere**, v. 285, p. 131-409, 2021.
- MENG, C., WANG, K., & XU, G. Metals in ten commercial demersal fish from the East China Sea: Contribution to aquatic products nutrition and toxic risk assessment. **Biological Trace Element Research**, p. 1-9, 2022.
- MIRANDA, L. M., RODRIGUES, L. R., PANTALEÃO, J. A. F., & DE ANDRADE, L. S. Reproductive aspects of the prawn *Macrobrachium amazonicum* in a continental population living downstream of a hydroelectric Dam. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 46, n. 3, 2020.
- MIRANDA, L. S., WIJESIRI, B., AYOKO, G. A., EGODAWATTA, P., & GOONETILLEKE, A. Water-sediment interactions and mobility of heavy metals in aquatic environments. **Water Research**, v. 202, p. 117386, 2021.
- MIRANDA, T. G., PIMENTEL, H. D. C. S., GOMES, E. J. C. M., DOS SANTOS PEREIRA, A. K., CAVALLINI, G. S., & PEREIRA, D. H. Toxic effects of Cr, Cu, Se, Cd, Hg and Pb ions on the environment and human health: a review: efeitos tóxicos dos íons cr, cu, se, cd, hg e pb ao ambiente e à saúde humana: uma revisão. **Concilium**, v. 23, n. 16, p. 307-326, 2023.
- MOLINA-GARCÍA, A., GARCÍA-HERNÁNDEZ, J., SOTO-JIMÉNEZ, M. F., PÁEZ-OSUNA, F., & JARA-MARINI, M. E. Mercury and selenium biomagnification in a coastal food web from the Gulf of California influenced by agriculture and shrimp aquaculture. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 40, p. 56175-56187, 2021.
- MONTEIRO DE OLIVEIRA, E. C., CAIXETA, E. S., SANTOS, V. S. V., & PEREIRA, B. B. Arsenic exposure from groundwater: environmental contamination, human health effects, and sustainable solutions. **Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B**, v. 24, n. 3, p. 119-135, 2021.

- MORAES-RIODADES, P. M., & VALENTI, W. C. Morphotypes in male Amazon River prawns, *Macrobrachium amazonicum*. **Aquaculture**, v. 236, n. 1-4, p. 297-307, 2004.
- MORAES-VALENTI, P., & VALENTI, W. C. Culture of the Amazon River Prawn *Macrobrachium amazonicum*; In: NEW, M. B. et al. (eds.) **Freshwater Prawns - Biology and Farming**. p. 485-501, 2010.
- MORENO, E. S., OLIVEIRA, J. C., SHIMABUKUR, P. H. F., & CARVALHO, L. Environmental licensing of large-scale enterprises: what are the limits for evaluating direct and indirect impacts on health? A case study in the Wajãpi Indigenous Land, Amapá. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 13, p. 519-540, 2018.
- MORUF, R. O., & AKINJOGUNLA, V. F. Concentration of heavy metals in sediment of two interconnecting brackish/freshwater lagoons and the bioaccumulation in the crustacean, *Farfantepenaeus notialis* (Pérez-Farfante, 1967). **Journal of Fisheries and Environment**, v. 43, n. 3, p. 55-62, 2019.
- MUDULI, S., & NAYAK, L. Comparative study on Iron, Copper, Zinc and Lead metals in two commercially important shrimps *Penaeus monodon* and *Penaeus indicus*. **International Journal of Current Innovations in Advanced Research**, v. 1, n. 1, p. 7-11, 2018.
- MUKHERJEE, J., SAHA, N. C., & KARAN, S. Bioaccumulation pattern of heavy metals in fish tissues and associated health hazards in human population. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 15, p. 21365-21379, 2022.
- NADEZHDA A. B., VLADIMIR B. VERBITSKY, ANDREY N. SHAROV, EKATERINA N. CHERNOVA, NINA YU METELEVA, OLGA A. Coupled application of antioxidant defense response and embryo development in amphipod crustaceans in the assessment of sediment toxicity. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 38, n. 9, p. 2020-2031, 2019.
- NAEEM, S., ASHRAF, M., BABAR, M. E., ZAHOR, S., & ALI, S. The effects of some heavy metals on some fish species. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 20, p. 25566-25578, 2021.
- NAGARJUNA, A., KARTHIKEYAN, P., MARIGOUDAR, S. R., & SHARMA, K. V. Efeito de concentrações de gradiente subletal de níquel em pós-larvas de *Penaeus monodon*, *Perna viridis* e *Terapon jarbua*: atividades enzimáticas e alterações histopatológicas. **Chemosphere**, v. 237, p. 124428, 2019.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. Nutrient Requirement of fish and Shrimp. Washington: National Academic Press, p. 164-184, 2011.
- NESAPRIYAM, P. J., MATHEW, R., VIDYA, A., RAJALEKSHMI, M., KAIPPILLY, D., & GEEJI, M. T. Mineral supplementation in low saline culture of Pacific white shrimp - Effects on growth and water quality. **Aquaculture Research**, v. 53, n. 6, p. 2501-2508, 2022.
- NIN, C. J., & RODGHER, S. Effect of a temperature rise on metal toxicity for the aquatic biota: a systematic review. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, v. 56, n. 4, p. 710-720, 2021.

- NOGUEIRA, C. D. S., OLIVEIRA, M. S. D., JACOBUCCI, G. B., & ALMEIDA, A. C. D. Relative growth of freshwater prawn *Macrobrachium brasiliense* (Decapoda, Palaemonidae) and its implications for reproduction. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 109, 2019.
- NOGUEIRA, C. S., PERROCA, J. F., BATISTA, A. C., & COSTA, R. C. Reproductive traits of the freshwater prawn *Macrobrachium amazonicum* (Decapoda: Palaemonidae) in an isolated water reservoir. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, v. 91, 2020.
- OBASOHAN, E. E. Bioaccumulation of chromium, copper, manganese, nickel and lead in a freshwater cichlid, *Hemichromis fasciatus* from Ogba River in Benin City, Nigeria. **African Journal of General Agriculture**, v. 4, n. 3, 2021.
- OLIVEIRA, A. D., & CUNHA, A. C. Análise de risco como medida preventiva de inundações na Amazônia: estudo de caso da enchente de 2000 em Laranjal do Jari-AP, Brasil. **Revista Ciência & Natura**, v. 37, n. 1, p. 110-118, 2015.
- OLIVEIRA, C. D. L. D., & SANTOS, L. V. R. Distribution of the giant river prawn *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879) in Brazil: 43 years after its introduction. **Nauplius**, v. 29, 2021.
- OLIVEIRA, E. M. N., SELLI, G. I., VON SCHMUDE, A., MIGUEL, C. A. M. I. L. A., LAURENT, S., VIANNA, M. R. M., & PAPALÉO, R. M. Developmental toxicity of iron oxide nanoparticles with different coatings in zebrafish larvae. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 22, n. 4, p. 1-16, 2020.
- OLIVEIRA, N. S., CUNHA, F. C., PRESTES, L. P., ASSUNÇÃO, E. A. D. S. E., SOARES, M. G. M., & CEZAR FLORENTINO, A. A pesca artesanal no alto e médio rio Araguari, Amapá, Brasil. **HOLOS**, v. 8, p. 81-98, 2018.
- ONITA, B., ALBU, P., HERMAN, H., BALTA, C., LAZAR, V., FULOP, A., ... & DINISCHIOTU, A. Correlation between heavy metal-induced histopathological changes and trophic interactions between different fish species. **Applied Sciences**, v. 11, n. 9, p. 3760, 2021.
- PANDIYAN, J., MAHBOOB, S., GOVINDARAJAN, M., AL-GHANIM, K. A., AHMED, Z., AL-MULHM, N., ... & KRISHNAPPA, K. An assessment of level of heavy metals pollution in the water, sediment and aquatic organisms: A perspective of tackling environmental threats for food security. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 2, p. 1218-1225, 2021.
- PANTALEÃO, J. A. F., CARVALHO-BATISTA, A., TEODORO, S. S., & COSTA, R. C. The influence of environmental variables in the reproductive performance of *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) (Caridea: Palaemonidae) females in a continental population. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, p. 1445-1458, 2018.
- PANTALEÃO, J. A. F., HIROSE, G. L., & COSTA, R. C. Occurrence of male morphotypes of *Macrobrachium amazonicum* (Caridea, Palaemonidae) in a population with an entirely freshwater life cycle. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, p. S223-S232, 2014.
- PASCHOAL, L. R. P., DE OLIVEIRA, L. J. F., ANDRIOLI, G. C., & ZARA, F. J. Dry or wet? What is the best choice to determine gonadosomatic and hepatosomatic

- indexes in females of *Macrobrachium amazonicum*? **Aquaculture Research**, v. 50, n. 12, p. 3589-3596, 2019.
- PASCHOAL, L. R. P., & ZARA, F. J. Assessing the ovarian development of *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) phenotypes by means of an integrative analysis. **Tissue and Cell**, v. 84, p. 102166, 2023.
- PASCHOAL, L. R. P., & ZARA, F. J. Size at onset of sexual maturity in *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) phenotypes: an integrative approach. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, p. e20180560, 2020.
- PASCHOAL, L. R. P., & ZARA, F. J. Sperm count of *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) populations with distinct life histories, with introduction of a simple counting method. **Aquaculture**, v. 491, p. 368-374, 2018.
- PATRACHOTPAKINKUL, K., JINTASATAPORN, O., & SCHUMKAM, S. Effect of trace minerals concentration on growth performance and immune response of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). In: **Proceeding National & International Conference**. p. 135, 2020.
- PAVLAKI, M. D., MORGADO, R. G., FERREIRA, V., ROCHA, R. J., SOARES, A. M., CALADO, R., & LOUREIRO, S. Cadmium accumulation and kinetics in *Solea senegalensis* tissues under dietary and water exposure and the link to human health. **Water**, v. 13, n. 4, p. 522, 2021.
- PENEZIĆ, A. Z., AĆIMOVIĆ, J. M., PAVIĆEVIĆ, I. D., JOVANOVIĆ, V. B., TAKIĆ, M., & MANDIĆ, L. M. The interplay between copper (II), human serum albumin, fatty acids, and carbonylating agent interferes with Cys 34 thiol reactivity and copper binding. **JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry**, v. 24, n. 1, p. 61-70, 2019.
- PEREIRA, A. C., GONÇALVES, B. B., DA SILVA B. R., VIEIRA, L. G., DE OLIVEIRA L. E. C., & ROCHA, T. L. Comparative developmental toxicity of iron oxide nanoparticles and ferric chloride to zebrafish (*Danio rerio*) after static and semi-static exposure. **Chemosphere**, v. 254, p. 126792, 2020.
- PEREIRA, S. D. F. P., PIRES, O. O., SARAIVA, A. F., OLIVEIRA, G. R., SOUSA JUNIOR, P. M. D., MIRANDA, R. G., ... & SALES, R. D. S. Distribuição de elementos tóxicos no estuário do rio Amazonas. **Eclética Química**, v. 36, p. 46-63, 2011.
- PERROCA, J. F., NOGUEIRA, C. S., CARVALHO-BATISTA, A., & COSTA, R. C. Population dynamics of a hololimnetic population of the freshwater prawn *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) (Decapoda, Palaemonidae) in southeastern Brazil. **Aquatic Ecology**, v. 56, n. 1, p. 21-34, 2022.
- PFEIFFER, D., & ANDERSON, P. D. Estimating sustainable fish production: Effect on fish consumption rates used to develop remediation goals at contaminated sediment sites. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 17, n. 3, p. 584-596, 2021.
- PHANSAWAT, P., KEETANON, A., RAIKAT, T., PICHITKUL, P., POLDETH, P., & CHUCHIRD, N. Benefits of male monosex culture of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*): Improving growth performance, production yield,

- and profitability. **Journal of Fisheries and Environment**, v. 46, n. 1, p. 157-168, 2022.
- PILLAI, B. R., PONZONI, R. W., DAS MAHAPATRA, K., & PANDA, D. Genetic improvement of giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*: A review of global status. **Reviews in Aquaculture**, v. 14, n. 3, p. 1285-1299, 2022.
- PINTER, T. B., ERVIN, C. S., DEB, A., PENNER-HAHN, J. E., & PECORARO, V. L. Cu (I) binding to designed proteins reveals a putative copper-binding site of the human line1 retrotransposon protein ORF1p. **Inorganic Chemistry**, v. 61, n. 12, p. 5084-5091, 2022.
- POERSCH, L. H., BAUER, W., KERSANACH, M. W., & WASIELESKY, W. Assessment of trace metals, total organic carbon and total nitrogen of a shrimp farm system in Southern Brazil. **Regional Studies in Marine Science**, v. 39, p. 101452, 2020.
- PRASAD, A. S., & BAO, B. Molecular mechanisms of zinc as a pro-antioxidant mediator: clinical therapeutic implications. **Antioxidants**, v. 8, n. 6, p. 164, 2019.
- PRESTES, L., SALOMÃO, C. B., FORTUNATO, W. C. P., & OLIVEIRA, N. I. A atividade pesqueira na foz do Amazonas, arquipélago do Bailique-Amapá, Brasil. **Holos**, v. 1, p. 1-30, 2021.
- PROHASKA, J. R. Impact of copper deficiency in humans. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1314, n. 1, p. 1-5, 2014.
- PUJARI, M., & KAPOOR, D. Heavy metals in the ecosystem: Sources and their effects. In: **Heavy Metals in the Environment**. Elsevier, p. 1-7, 2021.
- QIAN, D., XU, C., CHEN, C., QIN, J. G., CHEN, L., & LI, E. Toxic effect of chronic waterborne copper exposure on growth, immunity, anti-oxidative capacity and gut microbiota of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 100, p. 445-455, 2020.
- RAMOS, A. S., PEREIRA, L. D. J. G., CINTRA, I. H. A., & BENTES, B. S. Etnoconhecimento de pescadores artesanais de *Macrobrachium rosenbergii* em campos alagados de uma região Amazônica-Brasil. **Acta Fish.**, v. 4, p. 93-105, 2016.
- RAUBER, A., & PALHARES, J. O contexto e as perspectivas da exploração mineira no Amapá. **Confins. Revue fFranco-Brésilienne de Géographie/Revista Franco-Brasileira de Geografia**, n. 55, 2022.
- RIBEIRO, K., PAPA, L. P., VICENTINI, C. A., & FRANCESCHINI-VICENTINI, I. B. The ultrastructural evaluation of digestive cells in the hepatopancreas of the Amazon River prawn, *Macrobrachium amazonicum*. **Aquaculture Research**, v. 47, n. 4, p. 1251-1259, 2016.
- ROCHA, G. L., COSTA, T. V. D., MACHADO, N. D. J. B., GUALBERTO, T. L., & MUNIZ JÚNIOR, J. C. B. Effect of two diets on the fecundity of ablated and non-ablated females of *Macrobrachium amazonicum*. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 45, p. e59780, 2023.
- ROCHA, J. S., GIRÃO, F. A. L., dos Santos MENDES, L. S. A., de Castro GIRÃO, D., MAGALHÃES, G. V. V., & BARROSO, P. M. Bioacumulação de metais pesados em peixes: impactos sobre a saúde humana e meio ambiente. **Ciência Animal**, v. 23, n. 1, p. 40-43, 2023.

- RUIZ, T. F. R., GOIS, G. V. M. R., ROCHA, J. C. R., VIDAL, M. R., GARDINAL, M. V. B., VICENTINI, C. A., & VICENTINI, I. B. F. Myology of juvenile freshwater prawn *Macrobrachium amazonicum* (Decapoda, Caridea): Morphology and swimming implication. **Arthropod Structure & Development**, v. 58, p. 100973, 2020.
- RUIZ, T. F. R., RIBEIRO, K., VICENTINI, C. A., VICENTINI, I. B. F., & PAPA, L. P. Effects of dietary cholesterol on hepatopancreas associated with morphotypic differentiation in male Amazon River Prawns, *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862). **Aquaculture Research**, v. 50, n. 3, p. 862-870, 2019.
- SABATIER, M., GARCIA-RODENAS, C. L., DE CASTRO, C. A., KASTENMAYER, P., VIGO, M., DUBASCOUX, S., ... & AFFOLTER, M. Longitudinal changes of mineral concentrations in preterm and term human milk from lactating Swiss women. **Nutrients**, v. 11, n. 8, p. 1855, 2019.
- SABRY, M. I. E., STINO, F. K., & EL-GHANY, W. A. A. Copper: benefits and risks for poultry, livestock, and fish production. **Tropical Animal Health and Production**, v. 53, n. 5, p. 1-14, 2021.
- SALL, M. L., DIAW, A. K. D., GNINGUE-SALL, D., EFREMOVA AARON, S., & AARON, J. J. Toxic heavy metals: impact on the environment and human health, and treatment with conducting organic polymers, a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 24, p. 29927-29942, 2020.
- SAMPAIO, C. M. S., SILVA, R. R., SANTOS, J. A., & SALES, S. P. Reproductive cycle of *Macrobrachium amazonicum* females (Crustacea, Palaemonidae). **Brazilian Journal of Biology**, v. 67, p. 551-559, 2007.
- SAMPAIO, F. G., KLEEMANN, G. K., DE CARMO, M. V., DA SILVA PEREIRA, A., BARROS, M. M., & PEZZATO, L. E. Níveis de vitamina E e de selênio para pós-larvas de *Macrobrachium amazonicum*. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 26, n. 1, p. 129-135, 2004.
- SANKHLA, M. S., KUMAR, R., & AGRAWAL, P. Arsenic in water contamination & toxic effect on human health: Current scenario of India. **Journal of Forensic Sciences & Criminal Investigation**, v. 10, n. 2, p. 001-5, 2018.
- SANTOS, D. B., BARBIERI, E., BONDIOLI, A. C. V., & MELO, C. B. D. Efeitos do Chumbo no metabolismo do camarão branco (*Litopenaeus schmitti*) em relação à salinidade. **Mundo Saúde (Impr.)**, p. 16-23, 2013.
- SANTOS, J. D. J., DE FREITAS PEREIRA, B. W., SANTOS, R. M., & VIEIRA, L. B. Análise multitemporal da cobertura da terra na floresta estadual do amapá (FLOTA/AP). **Revista Arquivos Científicos (IMMES)**, v. 6, n. 1, p. 1-9, 2023.
- SARKAR, M. M., ROHANI, M. F., HOSSAIN, M. A. R., & SHAHJAHAN, M. Evaluation of heavy metal contamination in some selected commercial fish feeds used in Bangladesh. **Biological Trace Element Research**, v. 200, n. 2, p. 844-854, 2022.
- SARQUIS, R. S. F. R., SARQUIS, Í. R., SARQUIS, I. R., FERNANDES, C. P., ARAÚJO DA SILVA, G., LIMA E SILVA, R. B., ... & CARVALHO, J. C. T. The use of medicinal plants in the riverside community of the Mazagão River in the Brazilian Amazon, Amapá, Brazil: ethnobotanical and ethnopharmacological

- studies. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2019, 2019.
- SHALINI, R., JEYASEKARAN, G., SHAKILA, R. J., ARISEKAR, U., SUNDHAR, S., JAWAHAR, P., ... & HEMAMALINI, A. Concentrations of trace elements in the organs of commercially exploited crustaceans and cephalopods caught in the waters of Thoothukudi, South India. **Marine Pollution Bulletin**, v. 154, p. 111045, 2020.
- SHEIKH A. M., GHARAEI, A., MIRDAR H. J., & ARSHADI, A. A Comparison between dietary effects of *Cuminum cyminum* essential oil and *Cuminum cyminum* essential oil, loaded with iron nanoparticles, on growth performance, immunity and antioxidant indicators of white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **Aquaculture Nutrition**, v. 24, n. 5, p. 1466-1473, 2018.
- SHI, B., LU, J., HU, X., BETANCOR, M. B., ZHAO, M., TOCHER, D. R., ... & JIN, M. Dietary copper improves growth and regulates energy generation by mediating lipolysis and autophagy in the hepatopancreas of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **Aquaculture**, v. 537, p. 736505, 2021.
- SHIAU, S., & JIANG, L. Dietary zinc requirements of grass shrimp, *Penaeus monodon*, and effects on immune responses. **Aquaculture**, v.254, p.476-482, 2006.
- SHRESTHA, R., BAN, S., DEVKOTA, S., SHARMA, S., JOSHI, R., TIWARI, A. P., ... & JOSHI, M. K. Technological trends in heavy metals removal from industrial wastewater: A review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 4, p. 105-688, 2021.
- SIGNORELL, C., ZIMMERMANN, M. B., CAKMAK, I., WEGMÜLLER, R., ZEDER, C., HURRELL, R., ... & MORETTI, D. Zinc absorption from agronomically biofortified wheat is similar to post-harvest fortified wheat and is a substantial source of bioavailable zinc in humans. **The Journal of Nutrition**, v. 149, n. 5, p. 840-846, 2019.
- SILVA, R. C., JACOBUCCI, G. B., & MOSSOLIN, E. C. Reproductive biology of *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) (Decapoda: Palaemonidae) in a reservoir situated in Minas Gerais State, southeastern Brazil. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 45, n. 4, p. 776-786, 2017.
- SIMMANCE, F. A., COHEN, P. J., HUCHERY, C., SUTCLIFFE, S., SURI, S. K., TEZZO, X., ... & PHILLIPS, M. J. Nudging fisheries and aquaculture research towards food systems. **Fish and Fisheries**, v. 23, n. 1, p. 34-53, 2022.
- SIMÕES, H. C. G. Q. A história e os efeitos sociais da mineração no Estado do Amapá. **PRACS: Revista Eletrônica de Humanidades do Curso de Ciências Sociais da UNIFAP**, v. 2, n. 2, 2009.
- SINGH, N., DUAN, H., & TANG, Y. Toxicity evaluation of E-waste plastics and potential repercussions for human health. **Environment International**, v. 137, p. 105559, 2020.
- SINTORINI, M. M., WIDYATMOKO, H., SINAGA, E., & ALIYAH, N. Effect of pH on metal mobility in the soil. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing. p. 012-071, 2021.
- SOLGI, E., & BEIGZADEH-SHAHRAKI, F. Accumulation and human health risk of heavy metals in cultured rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) from different fish

- farms of eight cities of Chaharmahal and Bakhtiari province, Iran. **Thalassas: an International Journal of Marine Sciences**, v. 35, n. 1, p. 305-317, 2019.
- SOLGI, E., & MIRMOHAMMADVALI, S. Comparison of the heavy metals, copper, iron, magnesium, nickel, and zinc between muscle and gills of four benthic fish species from Shif Island (Iran). **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 106, n. 4, p. 658-664, 2021.
- SOUSA, P. E. S., RAFAEL, S. A., CANAFÍSTULA, F. P., DE LIMA, M. W., DE ALMEIDA ALVES-JÚNIOR, F., JÚNIOR, I. F., & CINTRA, I. H. A. Pesca e percepção ambiental do pescador artesanal do Canal Norte do Amapá, Amazônia, Brasil. **Observatório De La Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 9, p. 10691-10711, 2023.
- SOUZA, M. J. C., LOBATO, S. L. X., & DE OLIVEIRA MENEZES, R. A. Conhecimento tradicional de plantas medicinais na comunidade ribeirinha do Igarapé Banha no Município de Mazagão-Amapá, Amazônia brasileira. **Estação Científica (UNIFAP)**, v. 9, n. 1, p. 51-62, 2019.
- STANKUS, A. State of world aquaculture 2020 and regional reviews: FAO webinar series. **FAO Aquaculture Newsletter**, n. 63, p. 17-18, 2021.
- STERZELECKI, F. C., SANTOS, G. R., DE GUSMÃO, M. T. A., DE CARVALHO, T. C. C., DOS REIS, A. R., GUIMARÃES, R., ... & PALHETA, G. D. A. Effects of hydroponic supplementation on Amazon river prawn (*Macrobrachium amazonicum* Heller, 1862) and lettuce seedling (*Lactuca sativa* L.) development in aquaponics system. **Aquaculture**, v. 543, p. 736916, 2021.
- SULTANA, S., HOSSAIN, M. B., CHOUDHURY, T. R., YU, J., RANA, M. S., NOMAN, M. A., ... & ARAI, T. Ecological and human health risk assessment of heavy metals in cultured shrimp and aquaculture sludge. **Toxics**, v. 10, n. 4, p. 175, 2022.
- SUTTLE, N. F. Mineral nutrition of livestock. 4.ed. Wallingford: CABI Publishing, TAN, C. G., LI, X. Q., LENG, X. J., SU, X. G., CHEN, B. L., MA, F., CAI, X. Q., GUO, T., 2010.
- SWAIN, H. S., & SENAPATI, S. R. R. Biochemical function of trace minerals in fish. 2021.
- TAKARINA, N. D., PURWIYANTO, A. I. S., & SUTEJA, Y. Cadmium (Cd), Copper (Cu), and Zinc (Zn) levels in commercial and non-commercial fishes in the Blanakan River Estuary, Indonesia: A preliminary study. **Marine Pollution Bulletin**, v. 170, p. 112607, 2021.
- TAKEDA, T. A., MIYAZAKI, S., KOBAYASHI, M., NISHINO, K., GOTO, T., MATSUNAGA, M., ... & KAMBE, T. Zinc deficiency causes delayed ATP clearance and adenosine generation in rats and cell culture models. **Communications Biology**, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2018.
- TAVARES-DIAS, M. Piscicultura continental no Estado do Amapá: Diagnostico e perspectiva. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Macapá: Embrapa Amapá, 2011.

- TAVARES-DIAS, M. Toxic, physiological, histomorphological, growth performance and antiparasitic effects of copper sulfate in fish aquaculture. **Aquaculture**, v. 535, p. 736350, 2021.
- TEUNEN, L., BELPAIRE, C., DE BOECK, G., BLUST, R., & BERVOETS, L. Mercury accumulation in muscle and liver tissue and human health risk assessment of two resident freshwater fish species in Flanders (Belgium): a multilocation approach. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 5, p. 7853-7865, 2022.
- TURE, M., KILIC, M. B., & ALTINOK, I. Relationship between heavy metal accumulation in fish muscle and heavy metal resistance genes in bacteria isolated from fish. **Biological Trace Element Research**, v. 199, n. 4, p. 1595-1603, 2021.
- VAN RENSBURG, M. J., VAN ROOY, M., BESTER, M. J., SEREM, J. C., VENTER, C., & OBERHOLZER, H. M. Oxidative and haemostatic effects of copper, manganese and mercury, alone and in combination at physiologically relevant levels: An ex vivo study. **Human & Experimental Toxicology**, v. 38, n. 4, p. 419-433, 2019.
- VAN RENSBURG, M. J., VAN ROOY, M. J., BESTER, M. J., & OBERHOLZER, H. M. Ultrastructural alterations of whole blood by copper, manganese and mercury metal mixtures using a chronic in vivo model of coagulation. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 75, p. 103314, 2020.
- VASCONCELLOS, A. C. S. D., HALLWASS, G., BEZERRA, J. G., ACIOLE, A. N. S., MENESES, H. N. D. M., LIMA, M. D. O., ... & BASTA, P. C. Health Risk Assessment of Mercury Exposure from Fish Consumption in Mundurucu Indigenous Communities in the Brazilian Amazon. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 15, p. 7940, 2021.
- VENEZUELA, J. J. D., JOHNSTON, S., & DARGUSCH, M. S. The prospects for biodegradable zinc in wound closure applications. **Advanced Healthcare Materials**, v. 8, n. 16, p. 1900408, 2019.
- VENTURA, E., WINICK-SILVA, A., & SHINOZAKI-MENDES, R. A. Ovarian development and spawning of *Macrobrachium amazonicum* (Crustacea, Decapoda). **Iheringia. Série Zoologia**, v. 109, 2019.
- VENTURA, E., WINICK-SILVA, A., & SHINOZAKI-MENDES, R. A. Relative growth and reproductive biology of females of *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) (Decapoda: Caridea: Palaemonidae) in the semiarid Northeast Region, Brazil. **Journal of Crustacean Biology**, v. 42, n. 1, p. 78, 2022.
- VERA-VERA, V. C., GUERRERO, F., BLASCO, J., & ARAÚJO, C. V. Habitat selection response of the freshwater shrimp *Atyaephyra desmarestii* experimentally exposed to heterogeneous copper contamination scenarios. **Science of the Total Environment**, v. 662, p. 816-823, 2019.
- VIANA, L. F., KUMMROW, F., CARDOSO, C. A. L., DE LIMA, N. A., SOLÓRZANO, J. C. J., DO AMARAL CRISPIM, B., ... & FLORENTINO, A. C. High concentrations of metals in the waters from Araguari River lower section (Amazon biome): Relationship with land use and cover, ecotoxicological effects and risks to aquatic biota. **Chemosphere**, v. 285, p. 131451, 2021.

- VIEIRA, H. C., RODRIGUES, A. C., SOARES, A. M., ABREU, S., & MORGADO, F. Mercury accumulation and elimination in different tissues of zebrafish (*Danio rerio*) exposed to a mercury-supplemented diet. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 9, n. 8, p. 882, 2021.
- VIEIRA, I. M., & DE ARAÚJO NETO, M. D. Aspectos da socio economia dos pescadores de camarão da ilha do Pará (Pa) e Arquipélago do Bailique (Ap). **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 19, n. 1, 2006.
- WAN, J., REN, H., & WANG, J. Iron toxicity, lipid peroxidation and ferroptosis after intracerebral haemorrhage. **Stroke and Vascular Neurology**, v. 4, n. 2, 2019.
- WANG, H., DONG, Y., YUNYA, Y., GURPAL, S. T., & ZHANG, X. Changes in heavy metal contents in animal feeds and manures in an intensive animal production region of China. **Journal of Environmental Sciences**, v.25, p.2435-2442, 2013.
- WATANABE, T., KIRON, V., & SATOH, S. Trace minerals in fish nutrition. **Aquaculture**, v. 151, n. 1-4, p. 185-207, 1997.
- WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Cobalt and inorganic cobalt compounds. Concise International Chemical Assessment Document 69. Geneva, p.85, 2006.
- WOJEWÓDKA, M., SINEV, A. Y., ZAWISZA, E., & STAŃCZAK, J. A guide to the identification of subfossil non-chydorid Cladocera (Crustacea: Branchiopoda) from lake sediments of Central America and the Yucatan Peninsula, Mexico: part II. **Journal of Paleolimnology**, v. 63, n. 1, p. 37-64, 2020.
- WU, F., HARPER, B. J., & HARPER, S. L. Comparative dissolution, uptake, and toxicity of zinc oxide particles in individual aquatic species and mixed populations. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 38, n. 3, p. 591-602, 2019.
- WU, J., & CHEN, H. Metallothionein induction and heavy metal accumulation in white shrimp *Litopenaeus vannamei* exposed to cadmium and zinc. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, p. 383-394, 2005.
- WU, J. P., & CHEN, H. C. Effects of cadmium and zinc on the growth, food consumption, and nutritional conditions of the white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone). **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**. V. 74, p. 234-241, 2005.
- XING, K., LIU, Y., YAN, C., ZHOU, Y., ZHANG, R., SUN, Y., & ZHANG, J. Transcriptomic analysis of *Neocaridina denticulate* sinensis hepatopancreas indicates immune changes after copper exposure. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 121, p. 23-30, 2022.
- YANG, S., SUN, K., LIU, J., WEI, N., & ZHAO, X. Comparison of pollution levels, biomagnification capacity, and risk assessments of heavy metals in nearshore and offshore Regions of the South China Sea. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 19, p. 12248, 2022.
- YE, T., WU, X., WU, W., DAI, C., & YUAN, J. Ferritin protects shrimp *Litopenaeus vannamei* from WSSV infection by inhibiting virus replication. **Fish and Shellfish Immunology**, v. 42, p. 138-143, 2015.

- YEH, S. T., LIU, C. H., & CHEN, J. C. Effect of copper sulfate on the immune response and susceptibility to *Vibrio alginolyticus* in the white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Fish and Shellfish Immunology**, v. 17, p. 437-446, 2004.
- YIN, Y., PENG, H., SHAO, J., ZHANG, J., LI, Y., PI, J., & GUO, J. NRF2 deficiency sensitizes human keratinocytes to zinc oxide nanoparticles-induced autophagy and cytotoxicity. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 87, p. 103721, 2021.
- YU, B., WANG, X., DONG, K. F., XIAO, G., & MA, D. Heavy metal concentrations in aquatic organisms (fishes, shrimp and crabs) and health risk assessment in China. **Marine Pollution Bulletin**, v. 159, p. 111505, 2020.
- YU, Q., FU, Z., HUANG, M., XU, C., WANG, X., QIN, J. G., ... & LI, E. Growth, physiological, biochemical, and molecular responses of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* fed different levels of dietary selenium. **Aquaculture**, v. 535, p. 736393, 2021.
- YU, Y. Y., NIU, J., YIN, P., MEI, X. T., LIU, Y. J., TIAN, L. X., & XU, D. H. Detoxification and immunoprotection of Zn (II)-curcumin in juvenile Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) feed with aflatoxin B1. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 80, p. 480-486, 2018.
- ZAYNAB, M., AL-YAHYAI, R., AMEEN, A., SHARIF, Y., ALI, L., FATIMA, M., ... & LI, S. Health and environmental effects of heavy metals. **Journal of King Saud University-Science**, v. 34, n. 1, p. 101653, 2022.
- ZHANG, S., JIANG, F., KUANG, Y., XIE, Z., ZHU, T., LI, S., & HU, C. Effects of high current density on the characteristics of zinc films electroplated in ethylene electrolyte. **International Journal of Materials Research**, v. 113, n. 9, p. 785-794, 2022.
- ZHAO, Y., LIU, Y., SUN, J., SHA, H., YANG, Y., YE, Q., ... & HUANG, H. Acute toxic responses of embryo-larval zebrafish to zinc pyriithione (ZPT) reveal embryological and developmental toxicity. **Chemosphere**, v. 205, p. 62-70, 2018.
- ZHENG, S., WANG, Q., YUAN, Y., & SUN, W. Human health risk assessment of heavy metals in soil and food crops in the Pearl River Delta urban agglomeration of China. **Food Chemistry**, v. 316, p. 126213, 2020.
- ZHU, W., ZHANG, R., LIU, S., TIAN, J., LV, X., YU, F., & XIN, H. The effect of nanoparticles of cobalt-chromium on human aortic endothelial cells in vitro. **Journal of Applied Toxicology**, v. 41, n. 12, p. 1966-1979, 2021.
- ZYŚK, B. The distribution of cadmium and copper in fish organs. **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**, v. 2021, p. 2306-2309, 2021.

5. ARTIGO 1

Metal concentrations (Fe and Zn) in *Macrobrachium amazonicum* from
Brazilian Amazon rivers

Concentrações de metais (Fe e Zn) em *Macrobrachium amazonicum* de
rios da Amazônia brasileira



**Metal concentrations (Fe and Zn) in *Macrobrachium amazonicum* from
Brazilian Amazon rivers**

**Concentrações de metais (Fe e Zn) em *Macrobrachium amazonicum* de
rios da Amazônia brasileira**

DOI: 10.55905/oe/v22n1-006

Recebimento dos originais: 01/12/2023

Aceitação para publicação: 02/01/2024

Tainára Cunha Gemaque

Master in Zootecnia

Institution: Universidade Federal de Minas Gerais

Address: Av. Pres. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte - MG,

CEP: 31270-901

E-mail: tainarapesca@gmail.com

Qualis A4

**Metal concentrations (Fe and Zn) in *Macrobrachium amazonicum*
from Brazilian Amazon rivers**

**Concentrações de metais (Fe e Zn) em *Macrobrachium amazonicum*
de rios da Amazônia brasileira**

Tainára Cunha Gemaque, Leandro Fernandes Damasceno, Luciana Sampaio Lima, Daniel Pereira da Costa, Jô de Farias Lima, Kleber Campos Miranda-Filho

ABSTRACT

The objective of this work was to analyze the contamination by iron (Fe) and zinc (Zn) in the shrimp *Macrobrachium amazonicum* in the region of the mouth of the Amazon River in the State of Amapá, taking into account aquaculture and fishing activities. 90 shrimp of *M. amazonicum*. The animals (30) were found in three different points, being Mazagão Velho in Mazagão, a community on Ilha de Santana, a district in the Brazilian municipality of Santana and Arquipélago do Bailique. Fe and Zn determinations were performed by conventional flame atomic absorption spectrophotometry. The greatest accumulation of Zn in the organs and the lowest concentration of Zn in the muscle and exoskeleton of *M. amazonicum* was observed. Fe had the highest accumulation in organs, followed by exoskeleton and muscle. Zn accumulation in male organs was greater than in muscle and exoskeleton while Fe concentrations were greater in organs, followed by exoskeleton and muscle. In females, Zn accumulation was greater in our organs, with no difference between muscle and exoskeleton. According to the present study, to maintain levels of food security, the consumption of freshwater shrimp caught and farmed in Mazagão, Bailique Archipelago, and the community of Ilha de Santana should be limited to a daily shrimp intake dose of 96.52 g for Fe and 226.81 g for Zn.

Keywords: aquaculture, amazon shrimp, minerals, fishing, food security.

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi analisar a contaminação por ferro (Fe) e zinco (Zn) no camarão *Macrobrachium amazonicum* na região da foz do Rio Amazonas no Estado do Amapá, tendo em vista as atividades de aquicultura e pesca. Foram utilizados 90 camarões, *M. amazonicum*. Foram coletados 30 animais por ponto de coleta, sendo

Mazagão Velho em Mazagão, comunidade da Ilha de Santana um distrito do município brasileiro de Santana e Arquipélago do Bailique. As determinações de Fe e Zn foram realizadas por espectrofotometria de absorção atômica de chama convencional. Foi observado o maior acúmulo de Zn nos órgãos e menores concentrações de Zn no músculo e no exoesqueleto de *M. amazonicum*. O Fe teve maior acúmulo nos órgãos seguido de exoesqueleto e músculo. A acumulação de Zn nos órgãos dos machos foi maior do que no músculo e exoesqueleto enquanto as concentrações de Fe foram maiores nos órgãos, seguido do exoesqueleto e músculo. Nas fêmeas, a acumulação de Zn foi maior nos órgãos, não havendo diferença entre músculo e exoesqueleto. Conforme o presente estudo, para manter níveis de segurança alimentar, o consumo de camarões de água doce capturados e cultivados em Mazagão, Arquipélago do Bailique e comunidade de Ilha de Santana devem ser limitados a uma dose diária de ingestão de camarão de 96,52 g para Fe e de 226,81 g para Zn.

Palavras-chave: aquicultura, camarão-da-amazônia, minerais, pesca, segurança alimentar.

INTRODUÇÃO

O camarão é um pescado muito apreciado mundialmente, possui alto teor de proteínas e baixa porcentagem de gorduras (Duray et al., 2022; Golder et al., 2022; Liu et al., 2022; Tanjung et al., 2022). A qualidade da água, alimentação e a quantidade de minerais no cultivo de camarões exercem grande influência na saúde dos animais, na segurança sanitária e para consumo humano (Kawan et al., 2019; Amir et al., 2021; Bull et al., 2021; Vieira et al., 2021).

Para fazer o cultivo de camarões, é importante levar em consideração a capacidade dos crustáceos em acumular metais não essenciais (Cd e Pb) e essenciais (Fe e Zn), estes fazem parte do processo homeostático dos camarões (Silva et al., 2016; Mostafiz et al., 2020; Arisekar et al., 2022). Os camarões necessitam de minerais essenciais para realizar seus processos metabólicos (Maia et al., 2022).

O zinco (Zn) atua no processo de crescimento, reprodução, síntese de proteínas, produção de energia e regulação gênica de camarões (Truong et al., 2020; Yuan et al., 2020; Hassan et al., 2021). Além disso, o zinco desempenha uma série de funções únicas em propriedades antioxidantes e respostas imunológicas, que se baseiam em suas

propriedades como catalisador de muitos processos metabólicos controlados por enzimas (Muralisankar et al., 2014; Yuan et al., 2020; Shi et al., 2021).

O ferro é essencial para todos os organismos vivos. Para os camarões, este mineral é essencial na imunidade inata contra patógenos, crescimento, reprodução, resistência a fatores estressantes, está envolvido em muitos processos biológicos, como transporte de elétrons e síntese de DNA (Hsu et al., 1999; Mostafiz et al., 2020; Tang et al., 2020). No entanto, o zinco e o ferro inorgânico nas dietas podem causar poluição no ambiente aquático das zonas de aquacultura intensiva e seus arredores, até mesmo tornar-se tóxico para os organismos aquáticos quando altamente concentrados (Frías-Espericueta et al., 2003; Wu et al., 2011; Albuquerque et al., 2020; Jiao et al., 2022).

A carcinicultura gera diversos benefícios socioeconômicos, de acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2022), o cultivo de espécies do gênero *Macrobrachium* produzidas mundialmente aumentou cerca de 22% entre 2006 e 2016, gerando um lucro de cerca de US\$ 4,2 milhões; 506,6 mil toneladas de camarão (Azad et al., 2021; Ray et al., 2021; Golder et al., 2022). No Brasil e no mundo o camarão de água doce mais cultivado é a espécie exótica *Macrobrachium rosenbergii*, o que representa problemas para a sustentabilidade com a possibilidade de fuga e consequente dano à biodiversidade local (Silva et al., 2017; Lopes et al., 2020; Tan et al., 2022).

O *Macrobrachium amazonicum*, é uma espécie nativa que apresenta características favoráveis à produção em cativeiro, como alta fecundidade, ciclo de produção relativamente curto, aceita densidades de 80 camarões por m², possui relativa robustez, textura de sua carne é mais firme e saborosa que a espécie exótica *M. rosenbergii* (Araújo et al., 2017; Taddei et al., 2017; Heldt et al., 2019; Brazão et al., 2022; Perroca et al., 2022;). Essa espécie possui ampla distribuição no baixo rio Amazonas nos estados do Amapá e Pará e não apresenta risco de invasão de ecossistemas naturais por ser nativa (Bentes et al., 2011; Da Silva et al., 2016).

No estado do Amapá a mineração é uma das principais atividades da economia local, porém os resíduos da extração de minerais são despejados em rios e igarapés na região sem nenhuma forma de tratamento, provocando poluição no solo e na água, acarretando em danos para saúde de camarões e humanos que o consomem como alimento (Lima et al., 2015).

Os locais escolhidos para a realização das coletas de *M. amazonicum* foram Mazagão Velho, localizado no município de Mazagão e se caracteriza por ser uma região

rural e está relacionado com a mineração desde a década de 90 (Souza et al., 2019); comunidade da Ilha de Santana localizada em zona portuária e sofre influências da mineração por ser um local de escoamento destes produtos (Azevedo et al., 2019); e o Arquipélago do Bailique localizado na foz do Rio Amazonas com influência de degradação e poluição ambiental com resíduos de atividades mineradoras (Guabiraba et al., 2016).

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo conhecer as diferenças na acumulação de minerais no camarão *M. amazonicum*, de acordo com o ambiente de captura no que diz respeito ao Zn e ao Fe.

METODOLOGIA

Matéria-prima

Foram utilizados 90 camarões da espécie *M. amazonicum*, sendo 30 animais (15 machos e 15 fêmeas), coletados por ponto de coleta. Mazagão (região rural e menos populosa); Ilha de Santana (região portuária, apresentando maior ação antrópica); e Arquipélago do Bailique (foz do rio Amazonas próxima à região costeira, com influência na salinidade), conforme Figura 1.

Figura 1. Locais de coleta do *M. amazonicum*, Bailique: (arquipélago) 0°52'56.66"N, 50°6'22.22"W, Mazagão: (rio) 0°13'33.99"S, 51°25'58.05"W, Ilha de Santana: (porto) 0°4'9.03"S, 51°9'51.66"W.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2023).

A captura dos camarões foi realizada com auxílio de armadilha, conhecida como matapi, em seguida os camarões foram armazenados em um recipiente com identificação, preservado em gelo e transferido para o laboratório de aquicultura na Embrapa-AP onde foi realizada a pesagem, sexagem e aferidas as medidas de comprimento.

Preparo das amostras

Os corpos dos camarões foram separados em músculo, órgãos (gônadas, coração, hepatopâncreas, brânquias) e exoesqueleto, o que resultou em 45 amostras por sexo e pontos de coleta. Cada parte do corpo foi pesada individualmente em balança de precisão e armazenada em tubos Falcon de 15 mL e colocado em freezer convencional por 24 h (-18°C). Após o tempo de resfriamento as amostras foram secas por liofilização, durante 10 horas, utilizando um liofilizador de bancada Terroni Modelo Interprise I. Após o tempo de liofilização, as amostras foram pesadas para o cálculo da umidade e trituradas em moinho analítico KIA até a obtenção de um pó homogêneo.

Digestão das amostras

Para a digestão das amostras foi utilizada a metodologia de Souza et al. (2005). As partes liofilizadas do camarão foram transferidas para tubo de digestão, com adição de 4,0 mL de HNO₃ concentrado (70%), posteriormente as amostras ficaram em repouso por uma noite para serem colocadas no bloco digestor. Na manhã seguinte, o bloco digestor foi aquecido lentamente até atingir 120°C e mantido nessa temperatura por 1h, após esse tempo os tubos foram retirados e após esfriar, adicionou-se 4,0 mL de H₂O₂ (30%) e devolvidas ao bloco digestor que foi aquecido novamente até 120°C, até a solução tornar-se incolor. Após a aclimatação, foram transferidas para o tubo Falcon e seu volume foi completado com água destilada até 10 mL.

Determinações de metais

As determinações de Fe e Zn foram realizadas por espectrofotometria de absorção atômica de chama convencional, utilizando o espectrofotômetro de absorção atômica Thermo Scientific, modelo ICE 3300. Após a programação do aparelho para leitura dos metais de interesse, realizou-se a calibração do equipamento com a leitura de curvas de calibração, obtidas a partir de soluções padrões comerciais (Solução padrão de Fe 1.000 mg/L (996 mg/L ± 4 mg/L), Solução padrão de Zn 1.000 mg/L (1.003 mg/L ± 6 mg/L), Specsol (Quimlab, Jundiaí, SP, Brasil). Em seguida foi realizada a leitura nas três partes

do corpo dos camarões, músculos, órgãos (gônadas, coração, hepatopâncreas, brânquias) e exoesqueleto.

As concentrações finais para cada metal, expressas em mg/kg (base seca), foram obtidas por meio da equação:

$$[Cf] = (C \times V \times f) / m$$

Onde:

C = concentração em mg/mL obtida por meio da curva de calibração do metal

V = volume total do extrato (10 mL)

f = fator de diluição do extrato original, quando necessário

m = massa da amostra liofilizada

Para determinação da quantidade que pode ser consumida de camarão *M. amazonicum* capturado nas regiões de Bailique, Mazagão e Ilha de Santana diariamente pelo ser humano foi feita a seguinte equação:

$$1.000g \div \frac{\text{concentração do mineral}}{\text{limite máximo de ingestão}}$$

Análise estatística

A análise estatística foi feita conforme recomendado por Sampaio (2010) utilizando o software Infostat Versão 9.0. O teste de normalidade aplicado foi o Shapiro-Wilk, nas variáveis normais foi feito o teste de Duncan e nas não normais foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis ambos ao nível de significância de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comprimento e o peso corporal total de *Macrobrachium amazonicum*, separados por sexo de acordo com os locais de coleta, estão expostos na Tabela 1.

Tabela 1. Biometria de *Macrobrachium amazonicum* coletados em rios da Amazônia brasileira.

Local	Sexo	Peso Total (g)	Comprimento (mm)
Bailique	Macho	6,24 ± 1,40 ^b	9,48 ± 0,93 ^a
	Fêmea	5,45 ± 0,92 ^{ab}	9,34 ± 0,68 ^a
Ilha de Santana	Macho	5,33 ± 1,39 ^{ab}	9,51 ± 0,87 ^a
	Fêmea	5,05 ± 1,21 ^a	9,16 ± 0,70 ^a
Mazagão	Macho	7,41 ± 0,97 ^c	10,48 ± 0,60 ^b
	Fêmea	6,01 ± 0,85 ^b	9,67 ± 0,55 ^a
Bailique	Total	5,84 ± 1,23 ^b	9,41 ± 0,81 ^a
Ilha de Santana	Total	5,19 ± 1,29 ^a	9,34 ± 0,79 ^a
Mazagão	Total	6,71 ± 1,14 ^c	10,08 ± 0,70 ^b
Total	Macho	6,33 ± 1,51 ^b	9,82 ± 0,92 ^b
	Fêmea	5,50 ± 1,06 ^a	9,39 ± 0,67 ^a
	Total	5,91 ± 1,29	9,61 ± 0,80

Letras diferentes numa mesma coluna demonstram diferenças significativas pelo teste paramétrico de Duncan ($p < 0,05$).

Os valores médios de comprimento/peso total dos camarões avaliados em todos os locais são superiores aos capturados por Coelho et al. (2017) no Oeste do Estado do Pará, Brasil, foi de 6,37 mm/1,89 g para machos e 6,96 mm/2,57 g para fêmeas. A média das medidas de comprimento e peso total menores também foram observadas em estudo realizado no Estado do Amazonas, Brasil, nos machos foi de 6,83 cm/2,62 g, para fêmeas 7,66 cm/3,68 g (Pereira et al., 2019).

Em Mazagão entre os três locais de coleta é onde mais ocorre a captura de camarões, e local em que os animais apresentaram maior peso e comprimento quando comparados com os do Bailique e da Ilha de Santana que apresentam menor peso e comprimento de todos os animais analisados neste estudo. Diversas variáveis bióticas e abióticas podem interferir no desenvolvimento corporal desses organismos, tais como a disponibilidade de alimentos, densidade, sanidade, entre outros (Lima et al., 2015).

Os resultados dispostos na Tabela 3 mostram que houve maior acúmulo de Zn nas fêmeas em relação aos machos. Para Fe não houve diferença entre os sexos. No Arquipélago do Bailique o acúmulo de Zn foi maior nas fêmeas e de Fe menor em machos.

Nos animais coletados na Ilha de Santana e em Mazagão não houve diferença entre os sexos para Fe e Zn. No total, os camarões oriundos do Bailique acumularam mais Zn do que os da ilha de Santana e Mazagão.

A presença de Fe foi menor nos camarões de Mazagão estes também apresentam maior peso e comprimento de acordo com a Tabela 1, havendo maior acúmulo nos animais capturados na Ilha de Santana e Bailique. A acumulação de Zn nos órgãos dos machos foi maior do que no músculo e exoesqueleto e de Fe foi maior nos órgãos seguido do exoesqueleto e por último músculo.

O conhecimento das concentrações de metais pesados, micronutrientes, microminerais em camarões e crustáceos em geral é importante tanto para o manejo do ecossistema quanto para o consumo humano. Para medir o risco à saúde humana representado pelas contaminações por metais pesados, a FAO e a OMS definiram os limites máximos recomendados para cada metal pesado (FAO & OMS, 1994), conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Quantidade mínima e máxima diária para ingestão de Fe e Zn para adultos.

Ingestão Diária Recomendada	Mínima	Fonte	Máxima	Fonte
Ferro	14 mg/kg	BRASIL, 2005	100 mg/kg	FAO/OMS, 1994
Zinco	7 mg/kg	BRASIL, 2005	100 mg/kg	FAO/OMS, 1994

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

O Fe e o Zn são dois micronutrientes essenciais para a saúde de humanos e animais. Suas concentrações adequadas no organismo desempenham papéis vitais em processos fisiológicos e metabólicos, tais como transporte de oxigênio, função imunológica e síntese de DNA (Chan et al., 2021).

O Fe é um componente fundamental da hemoglobina, a proteína presente nos glóbulos vermelhos que transporta oxigênio para as células. O Zn, por sua vez, é essencial para uma variedade de funções metabólicas, incluindo a atividade enzimática e a resposta imunológica. Alterações nos níveis de consumo desses micronutrientes podem ter consequências adversas tanto em humanos quanto em animais (Zimmermann & Hurrell, 2007).

Como resultado da equação aferição da quantidade que pode ser consumida de camarão *M. amazonicum* é recomendado o consumo diário de camarão dessas regiões de 96,52 g para não ultrapassar o limite de ingestão diária de Fe e de 226,81 g para Zn.

Embora as concentrações de Fe e Zn nos músculos sejam menores do que em outros tecidos, deve-se ter cautela ao consumir camarões capturados em rios próximos a locais afetados pela mineração e evitar o consumo de órgãos e exoesqueleto, estes podem

ser destinados para uso na industrialização, o exoesqueleto pode ser usada para a extração de quitosana e astaxantina e os órgãos para produção de farinhas na alimentação animal.

Tabela 3. Concentração de metais essenciais em *Macrobrachium amazonicum* da bacia do Rio Amazonas.

Grupos		Metais	
		Zn(mg/kg)	Fe(mg/kg)
Sexo	Macho	695,95 ± 626,96 ^a	3117,7 ± 3019,61
	Fêmea	779,19 ± 775,15 ^b	3339,79 ± 3283,1
	Total	737,57 ± 701,06	3228,74 ± 3151,56
Local			
Bailique	Macho	690,57 ± 530,06 ^b	2992,26 ± 2440,55 ^c
	Fêmea	925,1 ± 462,22 ^c	4490,22 ± 4338,08 ^{bc}
Ilha de Santana	Macho	784,06 ± 714,08 ^b	4173,41 ± 4028,05 ^{bc}
	Fêmea	843,2 ± 747,35 ^{ab}	2271,22 ± 2101,9 ^{ab}
Mazagão	Macho	605,73 ± 559,48 ^a	1930,02 ± 2356,2 ^a
	Fêmea	649,25 ± 576,38 ^{ab}	2445,76 ± 433,08 ^{ab}
Bailique	Total	807,83 ± 508,36 ^b	4241,29 ± 4195,05 ^b
Ilha de Santana	Total	814,3 ± 810 ^a	3272,31 ± 2081,37 ^b
Mazagão	Total	627,49 ± 621,12 ^a	4241,29 ± 4195,05 ^a
Tecido			
Músculo	Macho	292,03 ± 138,22 ^a	889,86 ± 429,99 ^a
Órgãos	Macho	1360,45 ± 800,71 ^c	6822,62 ± 4160,53 ^d
Exoesqueleto	Macho	366,31 ± 184,71 ^{ab}	2073,09 ± 1924,04 ^c
Músculo	Fêmea	579,84 ± 495,7 ^b	1175,73 ± 875,81 ^{ab}
Órgãos	Fêmea	1409,85 ± 625,75 ^c	6906 ± 4902,97 ^d
Exoesqueleto	Fêmea	412,06 ± 273,99 ^{ab}	127035 ± 429,99 ^{bc}
Músculo	Total	440,89 ± 394,65 ^a	1036,12 ± 705,6 ^a
Órgãos	Total	1384,88 ± 715,97 ^b	6664,31 ± 4520,92 ^c
Exoesqueleto	Total	384,18 ± 235,35 ^a	1671,72 ± 1478 ^b

Letras diferentes numa mesma coluna demonstram diferenças significativas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

Yap et al. (2019) encontraram resultados opostos e este estudo em e *P. merguensi*, sendo maior concentração de Zn no músculo (55,5 µg/g) e menor no exoesqueleto sendo (42,9 µg/g) Fe, (25,1 µg/g) Zn. Anandkumar et al. (2017) mostraram em seu estudo que a concentração média de Zn no músculo do camarão variou entre 62,43 e 203,00 µg/g com a maior concentração de (203,00 µg/g) em *Harpiosquilla harpax* e o mais baixo (62,42 µg/g) em *Acetes indicus*. A concentração média de Zn nos músculos dos camarões de água doce no presente estudo foi de 292,03 µg/g ± 138,22 para machos e 579,84 µg/g ± 495,7 para fêmeas, sendo superior aos resultados de 114,56 µg/g encontrados para camarões marinhos por Anandkumar et al. (2017).

A concentração de Zn nos músculos dos camarões foi superior aos valores relatados na Malásia (68-186 $\mu\text{g/g}$) por Patimah & Dainal (1993), por Ismail et al. (1995) (5,00-16,00 $\mu\text{g/g}$). Everaarts & Nieuwenhuize (1995) encontraram as concentrações de (106,00 $\mu\text{g/g}$) na Costa do Quênia. Vázquez et al. (2001) encontraram no Golfo do México concentrações de (107,00 $\mu\text{g/g}$), Borrel et al. (2016) na Costa de Cochín, Índia (44,80 a 88,70 $\mu\text{g/g}$); Palk Bay, Índia (18,80 a 55,14 $\mu\text{g/g}$) por Arulkumar et al. (2017); e Soegianto et al. (1999) dados da costa da Indonésia (2,13 $\mu\text{g/g}$).

No entanto, o valor total de Zn nos músculos dos camarões no Amapá de 440,89 $\mu\text{g/g} \pm 394,65$ foi inferior ao valor total relatado em Sunderbans, Índia para (1.184,00 $\mu\text{g/g}$), Guhathakurta & Kaviraj (2000). Os resultados de Firat et al. (2008) foram significativamente maiores no hepatopâncreas (804,8 $\mu\text{g/g} \pm 103,1$ para o Zn e 684,9 $\mu\text{g/g} \pm 153,2$ para o Fe) do que no músculo em camarões *Penaeus semisulcatus* machos. Camarões são animais bentônicos e devido a esse hábito, partículas de micronutrientes podem se acumular em seu organismo por absorção através das brânquias ou de sedimentos e água contaminada.

Nos estudos de Sanchez-Chardi et al. (2007), Zn e Fe estavam presentes em grandes quantidades nos tecidos dos órgãos de *P. semisulcatus*. Nos tecidos analisados por El Gendy et al. (2015) nas brânquias a concentração de Zn foi maior que no exoesqueleto e neste maior que no músculo.

Diferente dos camarões peneídeos os carídeos apresentam regulações de Zn nas concentrações corporais em proporção com a biodisponibilidade de Zn dissolvido combinando a excreção de Zn com a absorção de Zn (Nuñez-Nogueira et al., 2005).

Chan et al. (2021) encontraram em camarões, maiores concentrações de Fe e Zn ocorreram nos órgãos ao invés dos músculos. Os músculos tendem a acumular baixas concentrações de micronutrientes porque as atividades metabólicas nos músculos são geralmente baixas.

A presença de Zn em maior concentração nos órgãos de camarões provavelmente está relacionada ao aumento da biodisponibilidade deste elemento no meio aquático e devido ao papel enzimático como regulador de várias enzimas do hepatopâncreas e glândulas na cabeça do animal (Bryan & Langston, 1992). De acordo com os resultados de (Lemos & Dantas, 2023), o Zn apresentou concentração média de 52 mg/kg no músculo do camarão *M. amazonicum*.

Devido à alta afinidade pela metalotioneína, o zinco tem baixa taxa de excreção e tende a se acumular no interior da célula de forma não tóxica reduzindo sua purificação,

fêmeas possuem maior exigência de Zn em seu metabolismo no período reprodutivo quando comparado aos machos no mesmo período (Amaral et al., 2005, Nascimento et al., 2016).

Nas concentrações de 15 e 20 mg de Zn no hepatopâncreas de *Macrobrachium nipponense* os parâmetros reprodutivos especialmente na taxa de fertilização dos ovos aumentaram em concentrações mais altas de 50 mg os períodos entre mudas e entre desovas foram adiados e a reprodução interrompida (Tavabe, 2023).

Nas fêmeas, a acumulação de Zn foi maior nos órgãos, entre músculo e exoesqueleto não houve diferença. Alguns estudos sugerem que as fêmeas tendem a acumular mais Zn do que os machos devido ao desenvolvimento das gônadas (Wang & Rainbow, 2008; Nascimento et al., 2016). Os tecidos das gônadas, hepatopâncreas e brânquias têm maior absorção de metal do que os tecidos musculares devido à atividade metabólica, portanto, acumulam maiores concentrações de metais (Langston, 1990; Amundsen et al., 1997).

O Zn é elemento essencial e desempenha papéis importantes no crescimento, imunidade, metabolismo celular e sobrevivência da maioria dos animais, incluindo de sangue azul, níveis relativamente altos desses metais podem estar relacionados a sua essencialidade para o organismo (Baboli et al., 2013). No entanto, altos níveis de Zn resultam em distúrbios no metabolismo e deficiências em outros metais como Fe e Cu, assim como o excesso de Fe dificulta a absorção de Zn pelo organismo (Fosmire, 1990; Cuajungco et al., 2021).

Cresswell et al. (2014) avaliaram a concentração de Zn em tecidos de *Macrobrachium australiense*, *M. rosenbergii* e *Macrobrachium latidactylus*, encontrando a concentração média de 144 ± 33 , 114 ± 4 e 128 ± 7 mg/kg, respectivamente. No presente estudo foram encontrados valores superiores, sendo $1.360,45 \pm 800,71$ mg/kg para machos e $1.409,85 \pm 625,75$ mg/kg para fêmeas.

Em *P. semisulcatus* a concentração de Zn foi maior no hepatopâncreas do que no músculo e exoesqueleto (Pourang, 2005). Anderson et al. (1997) relataram que em crustáceos decápodes, o hepatopâncreas é o principal local para armazenamento de metais e micronutrientes e desintoxicação nestes animais, além de desempenhar papel central no metabolismo. Lindahl & Moksnes (1993) relataram que o aumento de Zn no hepatopâncreas, em comparação com outros tecidos de camarão, também pode ser devido ao envolvimento deste tecido na excreção de substâncias do organismo.

De acordo com Zhang et al. (2021), a exigência de Zn na dieta para camarões do gênero *Macrobrachium* varia de 50 a 81 mg/kg. Srinivasan et al. (2016) concluíram que a quantidade de ingestão diária de Fe é de até 20 mg/kg para *M. rosenbergii*. Ambos os autores citam que quando ultrapassado o nível de exigência dos camarões o crescimento, reprodução, nutrição e alimentação dos animais é prejudicado pelo excesso destes minerais.

Lin et al. (2013) afirmam que o Zn reduziu significativamente a mortalidade cumulativa de *L. vannamei* contra *Vibrio harveyi*, indicando uma melhora do sistema imunológico e, portanto, uma melhor resistência do camarão. A ingestão de Zn pode reduzir a toxicidade do Cd, assim, a presença de Zn na água desempenha um papel importante para o organismo (Brzóska & Moniuszko-Jakoniuk, 2001).

Para o Fe, a concentração foi maior nos órgãos seguido pelo exoesqueleto e músculo. Essa tendência de ordem de acúmulo de Fe entre as partes analisadas do camarão também foi observada por outros autores (Páez-Osuna & Tron-Mayen, 1996). Eles também mostraram diferenças entre o acúmulo de Fe no exoesqueleto, onde os camarões de fazendas apresentaram concentrações menores do que os capturados em ambiente selvagem.

As maiores concentrações de Fe encontradas nos órgãos podem estar diretamente relacionadas à biodisponibilidade deste elemento no ambiente para o camarão, pois está distribuído em todos os compartimentos terrestres (Soni et al., 2001). Em *Farfantepenaeus californiensis*, o hepatopâncreas apresentou concentrações significativamente maiores de Zn em relação ao músculo e exoesqueleto (Frías-Espéricueta et al., 2016).

Nos órgãos dos camarões ocorreu maior acúmulo de Zn e menor no músculo e exoesqueleto, já o Fe teve maior acúmulo nos órgãos seguido do exoesqueleto e músculo. Schmidt et al. (2009) mostraram em seu estudo que o acúmulo de Fe em brânquias de camarões *Litopenaeus stylirostris* em sistemas aquáticos é comum quando o ambiente apresenta abundância deste micronutriente.

O exoesqueleto dos crustáceos é conhecido por ser usado como remediação de drenagem ácida de minas de efluentes para minerais, incluindo o Fe (Gamage & Shahidi, 2007), devido à sua capacidade como biopolímero adsorvente com alto teor de quitina e presença de carbonato de cálcio, um agente neutralizante de ácido (Keteles & Fleeger, 2001; Núñez-Gomez et al., 2017; Rech et al., 2019). A quitina e a quitosana que compõem

o exoesqueleto são reconhecidas como excelentes ligantes metálicos (Lemonnie et al., 2021).

No estudo de Lewtas et al. (2014), as brânquias de *Metapenaeus bennettiae* continham as maiores concentrações de Fe em comparação com outros tecidos (1.274 mg/kg de Fe). Em crustáceos, o hepatopâncreas armazena o Fe nas células que são transportadas pelos tecidos e pelas proteínas. Altas concentrações de minerais na água são refletidas nas brânquias, e altos níveis de minerais nos sedimentos ou alimentos ingeridos são refletidos nas crespas do hepatopâncreas.

As concentrações de minerais nas brânquias refletem a absorção de metal via água, enquanto concentração no hepatopâncreas representa o armazenamento de metais (Romeo et al., 1999). As brânquias são responsáveis pela extração oxigênio da água, e esses órgãos são expostos a grandes quantidades de água massas, portanto, espera-se que também acumulem metais (Swaileh & Adelung, 1994). Em contraste, o tecido muscular pode ser menos responsivo à absorção ou excreção de metais do que outros tecidos.

O *M. amazonicum* tem potencial para acumulação tanto para Zn como para Fe. Os resultados mostram que a maior concentração de Fe e Zn está presente nos órgãos dos camarões ($P < 0,05$). Maiores concentrações de Fe foram observadas nas brânquias e hepatopâncreas de camarões machos do que no músculo e exoesqueleto. Diferenças significantes nas concentrações de Fe nas brânquias foram encontradas em amostras de fêmeas (Ayse & Levent, 2007).

Em contrapartida, Baki et al. (2018) encontraram maiores concentrações de Fe e Zn no músculo e no exoesqueleto. Firat et al. (2008) relataram que o músculo do camarão apresentou menor concentração de Fe em comparação com o hepatopâncreas, resultados semelhantes foram relatados por Pourang & Dennis (2005). Músculo, órgãos e exoesqueleto de diferentes crustáceos acumulam metais traços em diferentes concentrações (Eisler, 1981). Ayse & Levent (2007) encontraram as maiores concentrações de Zn no hepatopâncreas de fêmeas e nos machos no músculo.

As variações das concentrações de metais traços medidos no tecido muscular comestível dos invertebrados estudados devem-se a diferentes fatores, como absorção, excreção, armazenamento e eficiência na a regulação e desintoxicação dos sistemas do organismo (Bryan, 1971). Embora tais estratégias fisiológicas e bioquímicas possam diferir entre as espécies (Gerlach, 1981). Além disso, as concentrações altas e/ou baixas dependem do tecido específico e invertebrado envolvido (Rainbow, 1993, 1998).

CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo indicam que o grau de acúmulo de minerais em camarões de água doce *M. amazonicum* capturados os camarões capturados em Mazagão, Arquipélago do Bailique e comunidade de Ilha de Santana exigem uma quantidade limite diária de ingestão de camarão de 96,52 g para Fe e de 226,81 para Zn.

Os padrões diferentes de acumulação de Fe e Zn podem ser usados para distinguir as partes dos camarões para fins comerciais, pois o músculo, maior parte comestível apresenta menor concentração destes minerais em relação aos órgãos e exoesqueletos. Além disso, as fêmeas de *M. amazonicum* acumulam mais Zn como estratégia reprodutiva pois têm maior necessidade de Zn durante seu desenvolvimento gonadal do que os machos para o processo reprodutivo.

Os exoesqueletos de camarão podem ser utilizados para tratar a poluição provocada por resíduos de minas de efluentes para minerais, incluindo o Fe. Maiores concentrações de Fe e Zn presentes nos órgãos estão relacionadas ao hepatopâncreas, pois este órgão tem função de armazenamento, desintoxicação e excreção de substâncias.

Para órgãos e exoesqueletos é recomendado cautela em seu uso na culinária, podem ser aproveitados na industrialização para remoção de quitosana e astaxantina. Nesse sentido, percebemos no camarão-da-amazônia uma espécie de ampla importância na ecológica e nutricional para humanos e outros animais de sua cadeia alimentar, quanto à presença dos metais analisados neste estudo.

REFERÊNCIAS

ABCC - Associação Brasileira de Criadores de Camarão (2020). Editorial. *Revista da ABCC*, v.22(2), out/2020. Disponível em: abccam.com.br/wp-content/uploads/2020/11/Revista-ABCC_online_-_09.11-1.pdf, 2020. Acesso em 27 de out. de 2022.

Albuquerque, F.E.A., Minervino, A.H.H., Miranda, M., Herrero-Latorre, C., Barrêto-Júnior, R.A., Oliveira, F.L.C., Dias, S.R, Ortolani, E.L., & López-Alonso, M. (2020). Toxic and essential trace element concentrations in the freshwater shrimp *Macrobrachium amazonicum* in the Lower Amazon, Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis*, 86, 103361. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103361>

Amaral, M.C.R., Rebelo, M.F., Torres, J.P.M, Pfeifferl, W.C. (2005). Bioaccumulation and depuration of Zn and Cd in mangrove oysters (*Crassostrea rhizophorae*, Guilding,

1828) transplanted to and from a contaminated tropical coastal lagoon. *Marine Environmental Research*, 59(4), 277-285.

Amundsen, P.A., Stadvik, F.J., Lukin, A.A., Kasbulin, N.A., Popva, O.A., & Reshetnikov, Y.S. (1997). Heavy metal contamination in freshwater fish from the border region between Norway and Russia. *Science and the Total Environment*, 201, 211-224. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(97\)84058-2](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(97)84058-2)

Anandkumar, A., Nagarajan, R., Prabakaran, K., & Rajaram, R. (2017). Trace metal dynamics and risk assessment in the commercially important marine shrimp species collected from the Miri coast, Sarawak, East Malaysia. *Regional Studies in Marine Science* 16, 79-88. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2017.08.007>

Anderson, M.B., Anderson, J.E., Preslan, L., Jolibois, J.E., Bollinger, W.G., & George, W.J. (1997). Bioaccumulation of lead nitrate in red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Journal of Hazardous Materials*, 54(2), 15-29. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(96\)01852-3](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(96)01852-3)

Araújo, M.C., & Valenti, W. (2017). Effects of feeding strategy on larval development of the Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum*. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46, 85-90. <http://doi.org/10.1590/s1806-92902017000200001>

Arulkumar, A., Paramasivam, S., & Rajaram, R. (2017). Toxic heavy metals in commercially important food fishes collected from Palk Bay, Southeastern India. *Marine Pollution Bulletin*, 119, 454-459. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.03.045>

Arisekar, U., Shakila, R.J., Shalini, R., Jeyasekaran, G., Padmavathy, P., Hari, M.S., & Sudhan, C. (2022). Accumulation potential of heavy metals at different growth stages of Pacific white leg shrimp, *Penaeus vannamei* farmed along the Southeast coast of Peninsular India: A report on ecotoxicology and human health risk assessment. *Environmental Research*, 212, 113105, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113105>

Amir, N., Makhfud, E., & Hidayat, A.F. (2021). Effects of dietary salt-based minerals and phosphorus supplements on mean body weight, survival rate and feed conversion ratio of White Shrimp reared in brackish water. *Rekayasa*, 14(3), 340-347. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v14i3.11808>

Azad, Md., Kalam, A., Islam, S.S., Amin, N. Md., Ghosh, A.K., Hasan, K.R., Bir, J., Banu, G.R., & Huq, K.A. (2021). Production and economics of probiotics treated *Macrobrachium rosenbergii* at different stocking densities. *Animal Feed Science and Technology*, 282, 115-125. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115125>

Baboli, M.J., Velayatzadeh, M., & Branch, A. (2013). Determination of heavy metals and trace elements in the muscles of marine shrimp, *Fenneropenaeus merguensis* from Persian Gulf, Iran. *Journal of animal and plant sciences*, 23(3), 786-791.

Baki, M.A., Hossain, M.M., Akter, J., Quraishi, S.B., Shojib, M.F.H., Ullah, A.A., & Khan, M.F. (2018). Concentration of heavy metals in seafood (fishes, shrimp, lobster and crabs) and human health assessment in Saint Martin Island, Bangladesh. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 159, 153-163. <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.04.0>

Bentes, B.S., Martinelli, J.M., Souza, L.S., Cavalcante, D., Almeida, M.C., & Isaac, V.J. (2011). Spatial distribution of the Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) (Decapoda, Caridea, Palaemonidae) in two perennial creeks of an estuary on the northern coast of Brazil (Guajará Bay, Belém, Pará). *Brazilian Journal of Biology*, 71, 925-935. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842011000500013>

Borrell, A., Tornero, V., Bhattacharjee, D., & Aguilar, A. (2016). Trace element accumulation and trophic relationships in aquatic organisms of the sundarbans mangrove ecosystem (Bangladesh). *Science of the Total Environment*, 54(5), 414-423. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.046>

Brazão, C.C., Kracizy, R.O., Dutra, F.M., Rodrigus, M.C.G., & Ballester, E.L.C. (2022). Combined effect of ammonia and nitrite for *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) and *Macrobrachium rosenbergii* (De man, 1879) post-larvae. *Aquaculture*, 551, 737880, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737880>.

Bryan, G.W. (1971). The effects of heavy metals (other than mercury) on marine and estuarine organisms. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 177, 389-410. <https://doi.org/10.1098/rspb.1971.0037>

Bryan, G.W., & Langston, W.J. (1992). Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom estuaries: a review. *Environmental Pollution*, 76(2), 89-131. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(92\)90099-V](https://doi.org/10.1016/0269-7491(92)90099-V)

Brzóška, M.M., & Moniuszko-Jakoniuk, J. (2001). Interactions between cadmium and zinc in the organism. *Food and Chemical Toxicology*, 39(10), 967-980. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(01\)00048-5](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(01)00048-5)

Bull, E.G., Cunha, C.L., & ScudelarI, A.C. (2021). Water quality impact from shrimp farming effluents in a tropical estuary. *Water Science and Technology*, 83(1), 123-136. <http://doi.org/10.2166/wst.2020.559>

Chan, W.S., Routh, J., Luo, C., Dario, M., Miao, Y., Luo, D., & Wei, L. (2021). Metal accumulations in aquatic organisms and health risks in an acid mine-affected site in South China. *Environmental Geochemistry and Health*, 43(11), 4415-4440. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-00923-0>

Cresswell, T., Smith, R.E., Nuggeoda, D., & Simpson, S.L. (2014). Comparing trace metal bioaccumulation characteristics of three freshwater decapods of the genus *Macrobrachium*. *Aquatic Toxicology*, 152, 256-263. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2014.04.015>

Cuajungco, M.P., Ramirez, S.M., & Tolmasky, M.E. (2021). Zinc: multidimensional effects on living organisms. *Biomedicines*, 9(2), 208. <https://doi.org/10.3390/biomedicines9020208>

Durai, V., Lloyd Chrispin, C., Bharathi, S., Velselvi, R. & Karthy, A. (2022). Factors determining the economic performance of *Litopenaeus vannamei* (whiteleg shrimp), aquaculture in Tamil Nadu, India. *Aquaculture Research*, 53(13), 4689-4696. <https://doi.org/10.1111/are.15961>

Eisler, R. (1981). Trace metal concentrations in marine organisms. Pergamon Press. EU, 2006. Maximum levels for certain contaminants in foodstuffs, Official Journal of the European Union, p. 364-5, 1981.

El Gendy, A., Saleh, A-L, & Magdy, E-H. (2015). Heavy metal concentrations in tissues of the shrimp *Penaeus semisulcatus* (De Haan, 1844) from Jazan, Southern Red Sea coast of Saudi Arabia. *Pakistan Journal of Zoology*, 47(3).

Everaarts, J.M., & Nieuwenhuize, J. (1995). Heavy Metals in surface sediment and epibenthic macroinvertebrates from the coastal zone and continental slope of Kenya. *Marine Pollution Bulletin*, 31(4), 281-28. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(95\)00190-X](https://doi.org/10.1016/0025-326X(95)00190-X)

FAO (2022) The state of fisheries and aquaculture (SOFIA) 2022. Towards Blue Transformation: Rome. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>. Accessed in 24 November 2022

FAO/OMS (1994). Codex alimentarius, second series. CAC/FAL, Rome, in: Food and Drugs, 3, Malaysia Law Publisher, Kuala Lumpur, p. 1-8.

FAO/WHO (1984). List of maximum levels recommended for contaminants by the joint FAO/WHO Codex Alimentarius Commission. Second Series. CAC/FAL, Rome, 3, 1-8.

Firat, Ö., Gök, G., Çoğun, H.Y., Yüzereroğlu, T.A., & Kargin, F. (2008). Concentrations of Cr, Cd, Cu, Zn and Fe in crab *Charybdis longicollis* and shrimp *Penaeus semisulcatus* from the Iskenderun Bay, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 147(1), 117-123. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-0103-7>

Frías-Espericueta, M.G., Ramos-Magaña, B.Y., Ruelas-Inzunza, J., Soto-Jiménez, M.F., Escobar-Sánchez, O., Aguilar-Juárez, M., ... & Voltolina, D. (2016). Mercury and selenium concentrations in marine shrimps of NW Mexico: health risk assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(11), 1-6. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5645-0>

Frías-Espericueta, M.G., Voltolina, D., & Osuna-López, J.I. (2003). Acute toxicity of copper, zinc, iron, and manganese and of the mixtures copper-zinc and iron-manganese to whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* Postlarvae. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 71(1), 0068. <https://doi.org/10.1007/s00128-003-0132-z>

Fosmire, G.J. (1990). Toxicidade do zinco. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 51, 225-227.

Gamage, A., & Shahidi, F. (2007). Use of chitosan for the removal of metal ion contaminants and proteins from water. *Food Chemistry*, 104(3), 989-996. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.004>

Gerlach, S.A. (1981). *Marine Pollution: Diagnosis and Therapy (VIII)*. Springer-Verlag, Berlin.

Golder, H.M., Simon, A.A.S., Santigosa, E., Ondarza, M-B., & Lean, J.L. (2022). Effects of probiotic interventions on production efficiency, survival rate, and immune responses of *Macrobrachium rosenbergii* (de Man) prawns: A meta-analysis and meta-regression. *Aquaculture*, 555, 738213. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738213>

Guhathakurta, H., & Kaviraj, A. (2000). Heavy metal concentration in water, sediment, shrimp (*Penaeus monodon*) and mullet (*Liza parsia*) in some brackish water ponds of sunderban, India. *Marine Pollution Bulletin*, 40(11), 914-920. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00028-X](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00028-X)

Hassan, Y.A., Khedr, A.I.M., Alkabli, J., Reda F.M., Elshaarawy, R.F.M., & Nasr, A.M. (2021). Co-delivery of imidazolium Zn (II) salen and Origanum Syriacum essential oil by shrimp chitosan nanoparticles for antimicrobial applications. *Carbohydrate Polymers*, 260, 117834. <http://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117834>

Heldt, A., Suita, S., Dutra, F.M., Pereira, A.L., Ballester, E., & Na-Villasante, F. (2019). Stable isotopes as a method for analysis of the contribution of different dietary sources in the production of *Macrobrachium amazonicum*. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 47(2), 282-291. <http://dx.doi.org/10.3856/vol47-issue2-fulltext-8>.

Hsu, T-S; & Shiau, S-Y. (1999). Influence of dietary ascorbate derivatives on tissue copper, iron and zinc concentrations in grass shrimp, *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 179(1-4), 457-464. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00179-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00179-9)

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019). Produção da pecuária municipal. 43.

Ismail, A., Jusoh, N.R., & Ghani, I.A. (1995). Trace metal concentrations in marine prawns off the Malaysian coast. *Marine Pollution Bulletin*, 31(3), 108-110. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(95\)00080-7](https://doi.org/10.1016/0025-326X(95)00080-7)

Jiao, L., Dai, T., Lu, J., Tao, X., Jin, M., Sun, P., & Zhou, Q. (2022). Excess iron supplementation induced hepatopancreas lipolysis, destroyed intestinal function in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Marine Pollution Bulletin*, 176, 113421. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113421>

- Kawan, I.M., Arya, I.W., & Sadguna, D.N. (2019). The effect of salinity on fecundity and production of giant shrimp larvae (*Macrobrachium rosenbergii* de Man). In: *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing. 033-059. <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/3/033059>
- Keteles, K.A., & Fleeger, J.W. (2001). The contribution of ecdysis to the fate of copper, zinc and cadmium in grass shrimp, *Palaemonetes pugio* Holthius. *Marine Pollution Bulletin*, 42(12), 1397-1402. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(01\)00172-2](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(01)00172-2)
- Langston, W.J. (1990). Toxic effects of metals and the incidence of marine ecosystem. In: Furness RW, Rainbow NA (eds) Heavy metals in the marine environment. CRC Press, New York. <https://doi.org/10.1201/9781351073158>
- Lemonnier, H., Wabete, N., Pham, D., Lignot, J.H., Barry, K., Mermoud, I., ... & Laugier, T. (2021). Iron deposits turn blue shrimp gills to orange. *Aquaculture*, 540, 736-697. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736697>
- Lemos, M.S., & Dantas, K.G.F. (2023). Evaluation of the use of diluted formic acid in sample preparation for elemental determination in crustacean samples by MIP OES. *Biological Trace Element Research*, 201(7), 3513-3519. <http://doi.org/10.1007/s12011-022-03409-x>
- Lewtas, K.L.M., Birch, G.F., & Foster-Thorpe, C. (2014). Metal accumulation in the greentail prawn, *Metapenaeus bennettiae*, in Sydney and Port Hacking estuaries, Australia. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(1), 704-716. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1961-x>
- Lima, D.P., Santos, C., Silva, R.S.S., Yoshioka, E.T.O., & Bezerra, R.M. (2015). Contaminação por metais pesados em peixes e água da bacia do rio Cassiporé, Estado do Amapá, Brasil. *Acta Amazonica*, 45, 405-414. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201403995>
- Lin, S., Lin, X., Yang, Y., Li, F., & Luo, L. (2013). Comparison of chelated zinc and zinc sulfate as zinc sources for growth and immune response of shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, 406, 79-84. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.04.026>
- Lindahl, U., & Moksnes, P. (1993). Metallothionein as a bioindicator of heavy metal stress in Colombian fish and shrimp: a study of dose-dependent induction. *Fisheries Development Series*, 73, 36-47. [https://doi.org/10.1016/0141-1136\(94\)00057-V](https://doi.org/10.1016/0141-1136(94)00057-V)
- Liu, Y., Liu, M., Jiang, K., Wang, B., & Wang, L. (2022). Comparative analysis of different density restrictions reveals the potential influence mechanism on the compensatory growth of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Research*, 53(7), 2629-644. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738821>
- Lopes, Y.V., Flores, I.G., & Dantas-Filho, J.V. (2020). A presença da espécie exótica *Macrobrachium rosenbergii* causa riscos ao camarão nativo da Amazônia

Macrobrachium amazonicum. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 9(3), 683-710. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e32020683-710>

Maia, M.L., Almeida, A., Soares, C., Silva, L.M.S., Delerue-Matos, C., Calhau, C., & Domingues, V.F. (2022). Minerals and fatty acids profile of Northwest Portuguese Coast shrimps. *Journal of Food Composition and Analysis*, 104652, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104652>

Mostafiz, F., Islam, Md.M., Saha, B., Md. Hossain, K., Moniruzzaman, M., & Habibullah-Al-Mamun, Md. (2020). Bioaccumulation of trace metals in freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* from farmed and wild sources and human health risk assessment in Bangladesh. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(14),16426-16438. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08028-4>

Muralisankar, T., Bhavan, P.S., Radhakrishnan, S., Seenivasan, C., Manickam, N., & Srinivasan, V. (2014). Dietary supplementation of zinc nanoparticles and its influence on biology, physiology and immune responses of the freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Biological Trace Element Research*, 160(1), 56-66. <https://doi.org/10.1007/s12011-014-0026-4>

Nascimento, J.R., Bidone, E.D., Rolao-Araripe, D., Keunecke, K.A., & Sabadini-Santos, E. (2016). Trace metal distribution in white shrimp (*Litopenaeus schmitti*) tissues from a Brazilian coastal area. *Environmental Earth Sciences*, 75(11), 1-9. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5798-8>

Núñez-Gomez, D., Alves, A.A.A., Lapolli, F.R., & Lobo-Recio, M.A. (2017). Application of the statistical experimental design to optimize mine-impacted water (MIW) remediation using shrimp-shell. *Chemosphere*, 167, 322-329. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.094>

Núñez-Nogueira, G., & Rainbow, N.A. (2005). Kinetics of zinc absorption in solution, accumulation and excretion by the decapod crustacean *Penaeus indicus*. *Marine Biology*, 147, 93-103. <https://doi.org/10.1007/s00227-004-1542-0>

Páez-Osuna, F., & Tron-Mayen, L. (1996). Concentration and distribution of heavy metals in tissues of wild and farmed shrimp *Penaeus vannamei* from the northwest coast of Mexico. *Environment International*, 22(4), 443-450. [https://doi.org/10.1016/0160-4120\(96\)00032-3](https://doi.org/10.1016/0160-4120(96)00032-3)

Patimah, I., & Dainal, A.T. (1993). Accumulation of heavy metals in *Penaeus Monodon* in Malaysia. International Conference on Fisheries and the Environment: Beyond 2000. December, 6-9, UPM, Serdang, Malaysia.

Perroca, J.F., Nogueira, C.S., Carvalho-Batista, A., & Costa, R.C. (2022). Population dynamics of a hololimnetic population of the freshwater prawn *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) (Decapoda, Palaemonidae) in southeastern Brazil. *Aquatic Ecology*, 56(1), 21-34. <https://doi.org/10.1007/s10452-021-09889-8>

Pourang, N., & Dennis, J.H. (2005). Distribution of trace elements in tissues of two shrimp species from the Persian Gulf and roles of metallothionein in their redistribution. *Environment International*, 31, 325-341. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.08.003>

Prasad, A.S. (2013). Discovery of human zinc deficiency: its impact on human health and disease. *Advances in Nutrition*, 4(2), 176-190. <http://doi.org/10.3945/na.112.003210>

Rainbow, P.S. (1993). The significance of trace metal concentration in marine invertebrates. In: Dallinger, R., Rainbow, P.S. (Eds.), *Ecotoxicology of Metals in Invertebrates*. Lewis Publishers, Chelsea, USA, 3-23. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(90\)90791-6](https://doi.org/10.1016/0025-326X(90)90791-6)

Rainbow, P.S. (1998). Phylogeny of trace metal accumulation in crustaceans. In: Langston, W.J., Bebianno, M. (Eds.), *Metal Metabolism in Aquatic Environments*. Chapman and Hall, London. 285-319.

Ray, S., Mondal, P., Paul, A.K., Iqbal, S., Atique, U., Islam, M.S., Mahboob, S., Al-Ghanim, K.A., Al-Misned, F., & Begum, S. (2021). Role of shrimp farming in socio-economic elevation and professional satisfaction in coastal communities. *Aquaculture Reports*, 20, 100708. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100708>

Rech, A.S., Rech, J.C., Caprario, J., Tasca, F.A., Recio, M.A.L., & Finotti, A.R. (2019). Use of shrimp shell for adsorption of metals present in surface runoff. *Water Science and Technology*, 79(12), 2221-2230. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99867-1_4

Tavabe, R.K., Kuchaksaraei, B.S., & Javanmardi, S. (2023). Impacts of ZnO and multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) on biological parameters of the Oriental river prawn *Macrobrachium nipponense* De Haan, 1849 (Decapoda: Caridea: Palaemonidae). *Journal of Crustacean Biology*, 43(2), 19. <https://doi.org/10.1093/jcbiol/ruad019>

Romeo, M., Siau, Y., Sidoumou, Z., & Gnassia-Barelli, M. (1999). Heavy metal distribution in different fish species from the Mauritania coast. *Science and Total Environment*, 232, 169-175. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00099-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00099-6)

Sanchez-Chardi, A., Lopez-Fuster, M. J., & Nadal, J. (2007). Bioaccumulation of lead, mercury, and cadmium in the greater white-toothed shrew, *Crocidura russula*, from the Ebro Delta (NE Spain): Sex- and age-dependent variation. *Environmental Pollution*, 145, 4-14. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.02.033>

Silva, E., Viana, V.C.Z., Onofre, C.R.E., Korn, M.G.A., & Santos, V.L.C.S. (2016). Distribution of trace elements in tissues of shrimp species *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) from Bahia, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 76, 194-204. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.17114>

Silva, F., Silva, F.N.L., Silva, F.R., Mangas, T.P., Oliveira, L.C., Macedo, A.R.G., Medeiros, L.R., & Cordeiro, C.A.M. (2017). O comércio do camarão amazônico (*Macrobrachium amazonicum*) na cidade de Breves Pará- Brasil. *Pubvet*, 11, 320-326. <https://doi.org/10.22256/PUBVET.V11N4.320-326>

Silva, L.M.A., Lima, J.F., & Takiyama, L.R. (2016). The recruitment pattern of *Macrobrachium amazonicum* (Crustacea, Decapoda, Palaemonidae) in the two of the Amazon River mouth, Amapá State, Brazil. *Biota Amazônia* 6(3), 97-101. <https://doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v6n3p97-101>

Schmidt, C., Corbari, L., Gaill, F., & Le Bris, N. (2009). Biotic and abiotic controls on iron oxyhydroxide formation in the gill chamber of the hydrothermal vent shrimp *Rimicaris exoculata*. *Geobiology*. 7, 454-464. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4669.2009.00209.x>

Shi, B., Xu, F., Zhou, Q., Regan, M. K., Betancor, M. B., Tocher, D. R., ... & Jin, M. (2021). Dietary organic zinc promotes growth, immune response and antioxidant capacity by modulating zinc signaling in juvenile Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Reports*, v. 19, p. 100638.

Soegianto, A., Charmantier-Daures, M., Trilles, J.P., & Charmantier, G. (1999). Impact of cadmium on the structure of gills and epipodites of the shrimp *Penaeus japonicas* (Crustacea: Decapoda). *Aquatic Living Resources*, v. 12, n. 1, p. 57-70.

Soni, M.G., White, S.M., Flamm, W.G., & Burdock, G.A. (2001). Safety evaluation of dietary aluminum. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 33(1), 66-79. <https://doi.org/10.1006/rtp.2000.1441>

Souza, G.B.; & Nogueira, A.R.A. (2005). Decomposição com ácido nítrico e peróxido de hidrogênio. Manual de laboratórios: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste.

Srinivasan, V., Bhavan, P. S., Rajkumar, G., Satgurunathan, T., & Muralisankar, T. (2016). Effects of dietary iron oxide nanoparticles on the growth performance, biochemical constituents and physiological stress responses of the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* post-larvae. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 4(2), 170-182.

Swaileh, K.M., & Adelung, D. (1994). Levels of trace metals and effect of body size on metal content and concentration in *Arctica islandica* L. (Mollusca: Bivalvia) from Kiel Bay, Western Baltic. *Marine Pollution Bulletin*, v. 28, n. 8, p. 500-505.

Taddei, F.G., Reis, S.S., David, F.S., Silva, T.E., Fransozo, V., & Fransozo, A. (2017). Population structure, mortality, and recruitment of *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) (Caridea: Palaemonidae) in the eastern Amazon region, Brazil. *The Journal of Crustacean Biology*, v. 37, n. 2, p. 131-141.

- Tan, K., & Wang, W. (2022). The early life culture and gonadal development of giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*: A review. *Aquaculture*, 738357. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738357>
- Tang, T., Yang, Z., Li, J., Yuan, F., Xie, S., & Liu, F. (2019). Identification of multiple ferritin genes in *Macrobrachium nipponense* and their involvement in redox homeostasis and innate immunity. *Fish & Shellfish Immunology*, 89, 701-709. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.04.050>
- Tanjung, L.R., Prihutomo, A., Nawir, F., Chrismadha, T., Widiyanto, T. (2022). Productivity assessment of na intensive whiteleg shrimp *Penaeus vannamei* farm based on Powersim-simulated growth rates. *Aquaculture International*, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s10499-022-00895-7>
- Truong, H.H., Moss, A.F., Boune, N.A., & Simon, C.J. (2020). Determining the importance of macro and trace dietary minerals on growth and nutrient retention in juvenile *Penaeus monodon*. *Animals*, 10(11), 2086. <http://doi.org/10.3390/ani10112086>
- Tu, N.P.C., Na, N.N., Ikemoto, T., Tuyen, B.C., Tanabe, S., & Takeuchi, I. (2008). Regional variations in trace element concentrations in tissues of black tiger shrimp *Penaeus monodon* (Decapoda: Penaeidae) from South Vietnam. *Marine Pollution Bulletin*, 57, 6-12, 858-866. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.02.016>
- Vázquez, F.G., Sharma, V.K., Mendoza, Q.A., Hernandez, R. (2001). Metals in fish and shrimp of the sound, gulf of Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination Toxicology*, 67(5), 756-762. <https://doi.org/10.1007/s001280187>
- Wang, W.X., & Rainbow, P.S. (2008). Comparative approaches to understand metal bioaccumulation in aquatic animals. *Compenium of Biochemistry and Physiology C Toxicology and Pharmacology*, 148, 315-323. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2008.04.003>
- Vieira, J.L., Nunes, L.S., Menezes, F.G.R., Kamila Vieira De Mendonça, K.V.M., & Sousa. O.V. (2021). An integrated approach to analyzing the effect of biofloc and probiotic technologies on sustainability and food safety in shrimp farming systems. *Journal of Cleaner Production*, 318, 128618. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128618>
- Wu, X-Y, & Yang, Y-F. (2011). Heavy metal (Pb, Co, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn and Zn) concentrations in harvest-size white shrimp *Litopenaeus vannamei* tissues from aquaculture and wild source. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(1), 62-65. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.03.030>
- Yuan, Y., Luo, J., Zhu, T., Jin, M., Jiao, L., Sun, P., Ward, T.L., Ji, F., Xu, G., Zhou, Q. (2020). Alteration of growth performance, meat quality, antioxidant and immune capacity of juvenile *Litopenaeus vannamei* in response to different dietary dosage forms of zinc: Comparative advantages of zinc amino acid complex. *Aquaculture*, 522, 735120. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735120>

Yap, C., Cheng, H., Hafetz, M., Nulit, R., Hao, S., Peng, T., ... & Kong, C. (2019). Health Risk Assessment of Heavy Metals in Prawn *Penaeus merguensis* Collected in 2007 from Sri Serdang Market, Peninsular Malaysia. *Acta Scientiarum Health Science*, 3, 109-113. <http://doi.org/10.31080/ASNH.2019.03.0376>

Yilmaz, A.B., & Yilmaz, L. (2007). Influences of sex and seasons on levels of heavy metals in tissues of green tiger shrimp (*Penaeus semisulcatus* de Hann, 1844). *Food Chemistry*, 101(4), 1664-1669. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.04.025>

Zhang, M., Huang, Y., Li, Y., Cai, M., & Zhao, Y. (2021). The effects of dietary zinc on growth, immunity and reproductive performance of female *Macrobrachium nipponense* prawn. *Aquaculture Research*, 52(4), 1585-1593. <https://doi.org/10.1111/are.15010>

Zimmermann, M.B., & Hurrell, R.F. (2007). Nutritional iron deficiency. *Lancet* (London, England), 370, 9586, 511-520. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(07\)61235-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)61235-5)

6. ARTIGO 2

The concentration of aluminum and cadmium in *Macrobrachium amazonicum* at the mouth of the Amazonas river

Concentração de alumínio e cádmio no *Macrobrachium amazonicum* na foz do rio Amazonas



CONCENTRATION OF ALUMINUM AND CADMIUM IN MACROBRACHIUM AMAZONICUM AT THE MOUTH OF THE AMAZONAS RIVER

Current status

We've received your submission and are now running technical checks

We are checking your submission against our journal guidelines and policies. If there is anything we need we will email kleber08@gmail.com.

Progress so far

Progress so far

1. Submission received - complete
2. Initial technical check - in progress

Your submission

Your submission

Title
CONCENTRATION OF ALUMINUM AND CADMIUM IN MACROBRACHIUM AMAZONICUM AT THE MOUTH OF THE AMAZONAS RIVER

Type
Research

Journal
Aquaculture International

Collection
Sustaining Life Below Water: Conserving, managing, and protecting our marine and freshwater resources

Submission ID
8cc3d9b3-961b-437c-be5f-067694619c29

Submission history

1. Technical check

Submission status	Date
Submission is under technical check	09 Feb 2024

2. Submission received

Submission status	Date
Submission received	09 Feb 2024

Need help?

If you have any questions about this submission, you can [email the Editorial Office](#).

How was your experience today?

Qualis A1

Concentração de alumínio e cádmio no *Macrobrachium amazonicum* na foz do rio Amazonas

The concentration of aluminum and cadmium in *Macrobrachium amazonicum* at the mouth of the Amazonas river

Tainára Cunha Gemaque, Leandro Fernandes Damasceno, Daniel Pereira da Costa, Jô de Farias Lima, Kleber Campos Miranda Filho

ABSTRACT

The present work aims to understand the differences in the accumulation of aluminum and cadmium in the tissues of *Macrobrachium amazonicum* according to the capture environment. 90 shrimp, *M. amazonicum*, were used at three different points, being Mazagão velho in Sazagão, a Community on Island de santana, a district in the municipality of Santana and Arquipélago do Bailique, ap, Brazil. Al and cd determinations were performed by conventional flame atomic absorption spectrophotometry. Mineral concentrations were evaluated in muscles, organs (gonads, heart, hepatopancreas, gills) and exoskeleton. Al levels in shrimp did not differ significantly according to sex, but males accumulated more cd than females. On the Island of Santana there was a lower accumulation of al in relation to the other collection points, while cadmium had a large variation in concentration at several points, presenting significant deviations, but without significant differences between the locations. In shrimp tissues, the accumulation of two metals predominated in the organs, applied to the muscles and in smaller quantities to the exoskeleton. Males had a greater variation in accumulation across all different collection points, with those from santana island being the group that accumulated the least metal, while males from the other two locations had higher accumulation rates. Cd accumulated less in females from santana island and more in males from Mazagão. Females have less al and cd in their exoskeleton, while the organs of both sexes are concentrated on the most significant things. Caution or suspension of consumption of shrimp with high concentrations of these metals is recommended.

Keywords: Aquaculture, Amazon shrimp, minerals, fishing, food security.

RESUMO

O presente trabalho objetiva conhecer as diferenças na acumulação de alumínio e cádmio nos tecidos de *Macrobrachium amazonicum* de acordo com o ambiente de captura. Foram utilizados 90 camarões, *M. amazonicum*, em três pontos diferentes, sendo Mazagão Velho em Mazagão, comunidade da Ilha de Santana um distrito do município de Santana e Arquipélago do Bailique, AP, Brasil. As determinações de Al e Cd foram realizadas por espectrofotometria de absorção atômica de chama convencional. As concentrações de minerais foram avaliadas nos músculos, órgãos (gônadas, coração, hepatopâncreas, brânquias) e exoesqueleto. Os níveis de Al nos camarões não diferiram de forma significativa segundo o sexo, porém os machos acumularam mais Cd que as fêmeas. Na ilha de Santana houve uma menor acumulação de Al em relação aos demais pontos de coleta, já o cádmio teve uma grande variação de concentração em diversos pontos apresentando desvios expressivos, mas sem diferença significativa entre os locais. Já nos tecidos dos camarões predominava o acúmulo de dois metais nos órgãos, aplicados da musculatura e em menor quantidade no exoesqueleto. Os machos tiveram uma maior variação na acumulação de todos os diferentes pontos de coleta, sendo que os da ilha de Santana foram o grupo que menos acumulou o metal, já os machos dos outros dois locais tiveram altas taxas de acumulação. Já o Cd foi menos acumulado nas fêmeas da Ilha de Santana e mais nos Machos de Mazagão. As fêmeas têm menos Al e Cd no exoesqueleto, enquanto os órgãos de ambos os sexos se concentram nas coisas mais significativas. Recomenda-se cautela ou suspensão do consumo de camarões com altas concentrações desses metais.

Palavras-Chave: Aquicultura, camarão-da-Amazônia, minerais, pesca, segurança alimentar.

1 INTRODUÇÃO

A aquicultura e a pesca desempenham papéis fundamentais na produção global de pescados, atendendo à procura cada vez maior de proteína animal (FAO, 2022). Entre as espécies cultivadas, os camarões do gênero *Macrobrachium* tem uma importância econômica substancial devido ao seu sabor e valor comercial (Agüero-Fernández et al., 2022). No entanto, a qualidade da produção aquícola e o bem-estar do camarão podem ser profundamente influenciados por vários fatores, incluindo a presença de metais pesados como o cádmio (Cd) e o alumínio (Al).

Embora o Al ocorra naturalmente na água devido a processos geológicos, concentrações elevadas podem ser atribuídas a atividades antrópicas como mineração e descarga de efluentes industriais (Dahiya, 2022). A exposição prolongada ao Al pode comprometer a qualidade da água e impactar a saúde dos camarões. Estudos indicaram que altas concentrações de Al podem induzir estresse em camarões *Macrobrachium*, afetando negativamente seu comportamento, reprodução e crescimento (Chen & Chen, 2003). Além disso, o Al pode prejudicar os seus processos de desintoxicação, levando a efeitos neurotóxicos (Rivera-Ingraham et al., 2021).

O Cd, um metal pesado tóxico para os organismos aquáticos, é uma preocupação significativa na aquicultura e na pesca do camarão *Macrobrachium* (Liu et al., 2021; Ahmed et al., 2023; Song et al., 2023). A principal fonte de exposição ao Cd surge da poluição da água em ambientes agrícolas, decorrente de operações industriais, atividades de mineração, descargas de resíduos e práticas agrícolas (Alloway, 2013). Concentrações elevadas de Cd na água podem ter efeitos prejudiciais no crescimento e sobrevivência dos camarões. Pesquisas indicaram que o acúmulo de Cd nos tecidos dos camarões pode causar danos em órgãos internos, como hepatopâncreas e brânquias, comprometendo sua saúde geral (Longmani et al., 2023; Wang et al., 2023). Consequentemente, a monitorização e o controle dos níveis de Cd nas águas da aquicultura são essenciais para garantir a produção de camarão saudável e seguro.

Estes metais pesados podem bioacumular em organismos aquáticos à medida que sobrevivem e se alimentam nestes ecossistemas. A contaminação de pescados com Cd e Al pode ameaçar a saúde humana, pois estes metais podem ter efeitos adversos quando consumidos (Järup, 2003). Sabe-se que o cádmio causa danos renais, aumenta o risco de câncer quando acumulado em níveis elevados no corpo (Satarug et al., 2010) e induz efeitos neurotóxicos e cardiotóxicos (Naija & Yalcin, 2023). O alumínio, por outro lado, tem sido associado a distúrbios neurológicos e problemas de desenvolvimento em fetos e crianças (Krewski et al., 2007; Bryliński et al., 2023).

Estudos de avaliação de risco destacam que a exposição crônica a estes metais através do consumo de pescados contaminados pode contribuir para problemas de saúde, particularmente em populações com elevadas taxas de consumo destas fontes de proteína (Agbugui & Abe, 2023; Azar & Vajargah, 2023). A bacia do rio Amazonas se destaca como um dos ecossistemas aquáticos mais vitais do mundo, abrigando uma grande variedade de espécies, incluindo o camarão de água doce *M. amazonicum* (Costa & Miranda-Filho, 2020).

No entanto, a crescente industrialização e urbanização em áreas próximas ao rio Amazonas levanta preocupações sobre a contaminação por metais pesados nestes crustáceos. Pesquisas revelaram que *M. amazonicum* pode acumular diversos metais pesados em seus tecidos (Albuquerque et al., 2020; Barros et al., 2023). A contaminação do camarão pode resultar em efeitos adversos, incluindo danos aos órgãos internos, estresse oxidativo e crescimento prejudicado (Sundaray et al., 2011).

A presença de Al e Cd em *M. amazonicum* representa preocupações ambientais e de saúde pública, ressaltando a necessidade de estudos contínuos para avaliar a extensão da contaminação e suas repercussões na biodiversidade aquática e na segurança alimentar das populações humanas. Diante disso, este estudo objetiva analisar as concentrações de Cd e Al nos tecidos de camarões *M. amazonicum* coletados em três localidades da foz do rio Amazonas no Estado do Amapá.

2 METODOLOGIA

Matéria-prima

Foram utilizados 90 camarões da espécie *M. amazonicum*, sendo 30 animais (15 machos e 15 fêmeas), coletados em três pontos. Mazagão (região rural e menos populosa); Ilha de Santana (região portuária, apresentando maior ação antrópica); e Arquipélago do Bailique (foz do rio Amazonas próxima à região costeira, com influência na salinidade), conforme Figura 1.

Figura 1. Locais de coleta do *M. amazonicum*, Bailique: (arquipélago) 0°52'56.66"N, 50°6'22.22"W, Mazagão: (rio) 0°13'33.99"S, 51°25'58.05"W, Ilha de Santana: (porto) 0°4'9.03"S, 51°9'51.66"W



Fonte: Adaptado de Google Earth (2023).

A captura dos camarões foi realizada com auxílio de armadilha, conhecida como matapi, em seguida os camarões foram armazenados em um recipiente com identificação, preservado em gelo e transferido para o laboratório de aquicultura na Embrapa-AP onde foi realizada a pesagem, sexagem e aferidas as medidas de comprimento.

Preparo das amostras

Os corpos dos camarões foram separados em músculo, órgãos (gônadas, coração, hepatopâncreas, brânquias) e exoesqueleto, o que resultou em 45 amostras por sexo e pontos de coleta. Cada parte do corpo foi pesada individualmente em balança de precisão e armazenada em tubos Falcon de 15 mL e colocado em freezer convencional por 24 h (-18°C). Após o tempo de resfriamento as amostras foram secas por liofilização, durante 10 horas, utilizando um liofilizador de bancada Terroni Modelo Interprise I. Após o tempo de liofilização, as amostras foram pesadas para o cálculo da umidade e trituradas em moinho analítico KIA até a obtenção de um pó homogêneo.

Digestão das amostras

Para a digestão das amostras foi utilizada a metodologia de Souza et al. (2005). As partes liofilizadas do camarão foram transferidas para tubo de digestão, com adição de 4,0 mL de HNO₃ (Ácido nítrico) concentrado (70%), posteriormente as amostras ficaram em repouso por uma noite para serem colocadas no bloco digestor. Na manhã seguinte, o bloco digestor foi aquecido lentamente até atingir 120°C e mantido nessa temperatura por 1h, após esse tempo os tubos foram retirados e após esfriar, adicionou-se 4,0 mL de H₂O₂ (30%) (Peróxido de hidrogênio) e devolvidas ao bloco digestor que foi aquecido novamente até 120°C, até a solução tornar-se incolor. Após a aclimação, foram transferidas para o tubo Falcon e seu volume foi completado com água destilada até 10 mL.

Determinações de metais

As determinações de Al e Cd foram realizadas por espectrofotometria de absorção atômica de chama convencional, utilizando o espectrofotômetro de absorção atômica Thermo Scientific, modelo ICE 3300. Após a programação do aparelho para leitura dos metais de interesse, realizou-se a calibração do equipamento com a leitura de curvas de calibração, obtidas a partir de soluções padrões comerciais (Solução padrão de Alumínio 1.000 mg/L (996 mg/L ± 4 mg/L), Solução padrão de Cádmio 1.000 mg/L (1.003 mg/L ± 6 mg/L), Specsol (Quimlab, Jundiaí, SP, Brasil). Em seguida foi realizada a leitura nas três partes do corpo dos camarões, músculos, órgãos (gônadas, coração, hepatopâncreas, brânquias) e exoesqueleto.

As concentrações finais para cada metal, expressas em mg. Kg⁻¹ (base seca), foram obtidas por meio da equação:

$$[Cf] = (C \times V \times f) / m$$

Onde:

C = concentração em mg/mL obtida por meio da curva de calibração do metal

V = volume total do extrato (10 mL)

f = fator de diluição do extrato original, quando necessário

m = massa da amostra liofilizada

Para determinação da quantidade que pode ser consumida de camarão *M. amazonicum* capturado nas regiões de Bailique, Mazagão e Ilha de Santana diariamente pelo ser humano foi feita a seguinte equação:

$$1.000g \div \frac{\text{concentração do mineral}}{\text{limite máximo de ingestão}}$$

Análise estatística

A análise estatística foi feita conforme recomendado por Sampaio (2010) utilizando o software Infostat Versão 9.0. O teste de normalidade aplicado foi o Shapiro-Wilk, nas variáveis normais foi feito o teste de Duncan e nas não normais foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis ambos ao nível de significância de 5%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados biométricos, incluindo peso corporal e comprimento total de *M. amazonicum*, categorizados por sexo e locais de coleta, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Dados biométricos de *Macrobrachium amazonicum* coletados em rios da Amazônia brasileira.

Local	Sexo	Peso Total (g)	Comprimento (mm)
Bailique	Macho	6,24 ± 1,40 ^b	9,48 ± 0,93 ^a
	Fêmea	5,45 ± 0,92 ^{ab}	9,34 ± 0,68 ^a
Ilha de Santana	Macho	5,33 ± 1,39 ^{ab}	9,51 ± 0,87 ^a
	Fêmea	5,05 ± 1,21 ^a	9,16 ± 0,70 ^a
Mazagão	Macho	7,41 ± 0,97 ^c	10,48 ± 0,60 ^b
	Fêmea	6,01 ± 0,85 ^b	9,67 ± 0,55 ^a
Bailique	Total	5,84 ± 1,23 ^b	9,41 ± 0,81 ^a
Ilha de Santana	Total	5,19 ± 1,29 ^a	9,34 ± 0,79 ^a
Mazagão	Total	6,71 ± 1,14 ^c	10,08 ± 0,70 ^b
Total	Macho	6,33 ± 1,51 ^b	9,82 ± 0,92 ^b
	Fêmea	5,50 ± 1,06 ^a	9,39 ± 0,67 ^a
	Total	5,91 ± 1,29	9,61 ± 0,80

Letras diferentes dentro de uma mesma coluna indicam diferenças significativas com base no teste paramétrico de Duncan ($p < 0,05$). Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

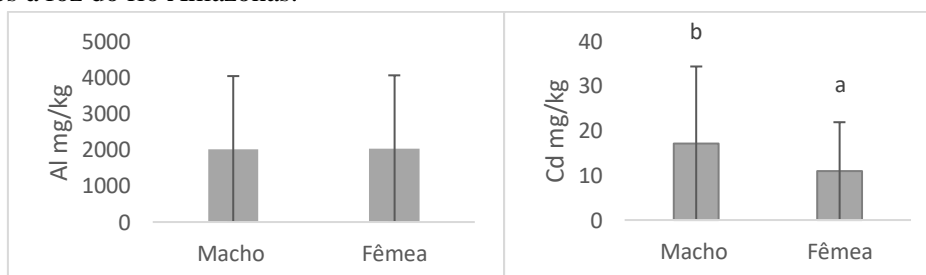
Em todas as localidades, as relações médias entre peso e comprimento total dos camarões machos e fêmeas deste estudo são maiores em comparação com os capturados em Santarém, PA, conforme relatado por De Almeida et al. (2023). Na região de

Santarém, os machos tinham comprimento total de 6,97 mm e peso total de 2,38 g, enquanto as fêmeas tinham comprimento total de 8,08 mm e peso total de 4,25 g. O maior peso e comprimento observados nos animais de Mazagão podem ser atribuídos à menor influência antrópica nesta região, possivelmente resultando em maior disponibilidade de alimento no ambiente aquático.

Os camarões coletados em Bailique e Ilha de Santana apresentaram pesos e comprimentos menores em relação aos de Mazagão, que apresentaram maior tamanho e peso entre todos os animais analisados neste estudo. Fatores como poluição ambiental, disponibilidade de alimentos e saúde podem influenciar o desenvolvimento desses animais. O alumínio, é um metal não essencial, pode alterar a regulação osmótica e causar alterações branquiais e respiratórias em organismos aquáticos (Russell et al., 2018). Algumas fontes de Cd em ecossistemas aquáticos incluem resíduos de baterias de níquel-cádmio e escoamento de áreas agrícolas com fertilizantes e resíduos de mineração (Onwubiko et al., 2020).

Conforme mostrado na Figura 2, os níveis de Al nos camarões não apresentaram diferenças significativas de acordo com o sexo. Um estudo de Idrus et al. (2021) em *Macrobrachium rosenbergii* macho e fêmea não encontraram diferenças baseadas no sexo, com acúmulo no músculo de $0,46 \pm 0,08$ mg/kg, $0,79 \pm 0,60$ mg/kg no exoesqueleto e $1,53 \pm 0,06$ mg/kg nos órgãos. No entanto, os machos apresentaram níveis mais elevados de acumulação de Cd em comparação com as fêmeas. As concentrações de Cd e Al nos camarões dependem principalmente de seus níveis ambientais, pois esses elementos não são essenciais para os processos bioquímicos e fisiológicos desses animais (Ruelas-Inzunza e Páez-Osuna, 2004).

Figura 2. Concentrações de alumínio (Al) e cádmio (Cd) por sexo em *M. amazonicum* coletados próximos à foz do rio Amazonas.



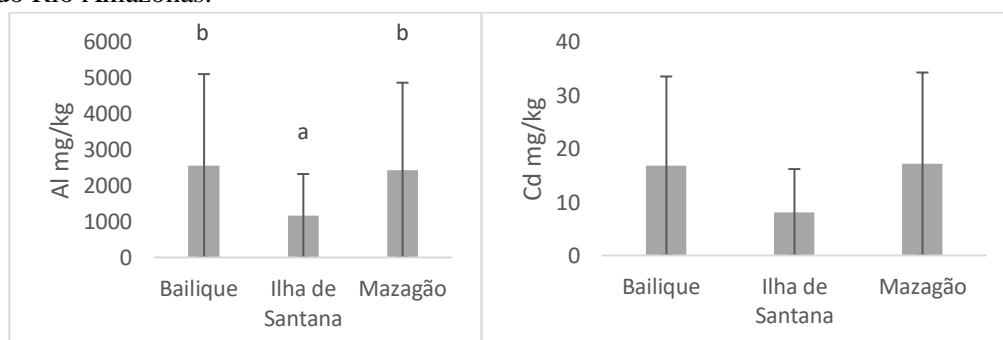
Letras diferentes dentro de uma mesma coluna indicam diferenças significativas determinadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Os compostos de alumínio têm potencial para afetar os sistemas reprodutivos dos crustáceos (Russell et al., 2018). Sabe-se que o cádmio induz estresse e alterações genéticas em organismos aquáticos, resultando em supressão imunológica e distúrbios de desenvolvimento e reprodução, levando ao aumento da mortalidade (Kumaresan et al., 2017; Das et al., 2021). Cresswell et al. (2014) identificaram que a dieta é a principal via de absorção de Cd em camarões, sendo responsável por 70% do total de Cd bioacumulado.

Revathi et al. (2011) relataram que camarões expostos ao Cd exibiram diminuição do Índice Gonadossomático (IGS) e desenvolvimento ovariano em comparação aos controles, além de hipertrofia lamelar, distrofia cuticular e arranjos irregulares de células epiteliais nas brânquias de camarões expostos ao Cd. Além disso, o hepatopâncreas desses camarões apresentou redução no diâmetro tubular e na espessura da membrana basal.

No geral a Ilha de Santana apresentou o menor acúmulo de Al e Cd para ambos os sexos (Figura 3), enquanto as maiores concentrações foram observadas nos exemplares de Mazagão e Bailique. Em geral, as concentrações de metais tendem a ser maiores em espécimes adultos. Consequentemente, indivíduos maiores e mais velhos normalmente apresentam concentrações elevadas (Wang & Rainbow, 2008).

Figura 3. Concentração de Al e Cd em *M. amazonicum* segundo local de coleta, diferentes pontos da foz do Rio Amazonas.



Letras diferentes na mesma coluna demonstram diferenças significativas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

De acordo com a Tabela 2, os machos de *M. amazonicum* apresentaram a variação mais significativa no acúmulo de Al entre os diferentes pontos de coleta. Notavelmente, os machos da Ilha de Santana acumularam os níveis mais baixos deste metal. No que diz respeito à pesca do camarão, que tem sido uma fonte vital de economia em Mazagão, houve um declínio notável da atividade nos últimos quinze anos. Em 1992, a captura média era de 340 kg, mas atualmente a média diminuiu para 10 kg, marcando uma

redução significativa de 70%. Este declínio está diretamente associado às atividades mineiras que decorrem nesta área desde 2004, envolvendo inicialmente a extração de cromita (Oliveira, 2010).

Tabela 2. Concentração de Al e Cd em *M. amazonicum* da bacia do rio Amazonas.

Grupos		Metais	
		Al (mg/kg)	Cd (mg/kg)
Sexo		2.022,36 ± 2.022,36	14,06 ± 14,06
Local			
Bailique	Macho	2.450,84 ± 2.079,39 ^c	19,84 ± 1,84 ^{bc}
	Fêmea	2.667,45 ± 2.659,84 ^b	13,75 ± 13,75 ^{ab}
Ilha de Santana	Macho	567,95 ± 397,24 ^a	10,28 ± 10,28 ^{bc}
	Fêmea	1.721,29 ± 1.721,29 ^b	6,07 ± 6,07 ^a
Mazagão	Macho	2.876,10 ± 2.876,10 ^c	21,68 ± 21,68 ^c
	Fêmea	2.021,40 ± 2.021,40 ^{bc}	13,08 ± 13,08 ^{abc}
Tecidos			
Musculo	Macho	1.234,17 ± 1.171,51 ^b	7,67 ± 7,67 ^c
Órgão	Macho	3.472,24 ± 3.192,98 ^c	39,73 ± 28,87 ^d
Exoesqueleto	Macho	1.028,24 ± 819,13 ^b	0,40 ± 0,40 ^{ab}
Musculo	Fêmea	1.121,84 ± 848,50 ^b	1,34 ± 1,34 ^b
Órgão	Fêmea	4.330,41 ± 3.407,14 ^c	29,0 ± 19,51 ^d
Exoesqueleto	Fêmea	552,18 ± 552,18 ^a	0,29 ± 0,29 ^a

Letras diferentes na mesma coluna demonstram diferenças significativas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

O distrito de Bailique, por outro lado, é influenciado pela poluição proveniente de combustíveis fósseis devido ao constante tráfego de embarcações, à degradação ambiental e ao escoamento de resíduos minerais transportados pela chuva para as correntes fluviais (Dos Santos et al., 2022). Esta poluição pode ter impactos substanciais no ambiente aquático, incluindo a acumulação de metais como Al e Cd nos tecidos dos camarões.

O exoesqueleto apresentou a menor quantidade de metais, enquanto os órgãos apresentavam maior acúmulo de Cd e Al em ambos os locais e sexos. O músculo, sendo a principal parte comestível do camarão, apresentou menor presença de Cd nos machos em comparação às fêmeas. Manter baixas concentrações de Cd no músculo é essencial para reduzir o risco de contaminação aos seres humanos através da ingestão.

Neste contexto, segundo a Organização Mundial da Saúde/Organização para a Alimentação e a Agricultura (OMS/FAO), a concentração de Cd em pescados não deve exceder 0,05 mg/kg (FAO/OMS, 2019). Porém, neste estudo, a concentração no músculo

dos machos ultrapassou esse limite, com concentração de $7,67 \pm 7,67$ mg/kg, e as fêmeas também apresentaram concentração de Cd de $1,34 \pm 1,34$ mg/kg no músculo. Isso supera o limite estabelecido pela RDC nº 42, de agosto de 2013, que estabelece o regulamento técnico do MERCOSUL sobre limites máximos para contaminantes inorgânicos em alimentos (Brasil, 2013).

A alta exposição ao Cd pode levar a doenças renais, disfunção hepática, atraso na formação óssea, hipertensão e aumento do risco de vários tipos de câncer (Biswas et al., 2021). A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) determina que a concentração média de Cd em peixes não deve ultrapassar 8,3 mg/kg. Em humanos, a exposição ao Cd pode levar a lesões histopatológicas nos rins, efeitos potenciais no sistema nervoso, sistema reprodutivo, ossos, anemia e esclerose lateral amiotrófica (uma doença que envolve degeneração progressiva do sistema neuromuscular) (OMS, 2007).

Comparativamente, em estudo de Sarkar et al. (2016) com *M. rosenbergii*, os autores encontraram concentração de Cd de 0,09 mg/kg no músculo e 0,13 mg/kg no exoesqueleto. Além disso, Russel et al. (2018), em seu estudo com camarões *Metapenaeus macleayi* expostos a 4 mg/L de Alumínio, observaram que o Al causava deformações nas brânquias e alterações nas estruturas do hepatopâncreas, este órgão, incluído neste estudo é responsável pelo armazenamento e excreção de metais ou transporte para outros tecidos do camarão.

Em estudos anteriores, a faixa de acúmulo de Cd nos músculos de *M. rosenbergii* variou de 0,005 mg/kg a 0,065 mg/kg (Kaoud e Eldahshan, 2010), e estudos de oligoelementos tóxicos e essenciais em duas espécies de camarão, *Penaeus indicus* e *Penaeus monodon*, relataram concentrações médias de Cd variando de 0,025 a 0,026 mg/kg no músculo (Tabinda et al., 2010). Além disso, Zodape (2014) encontrou um valor médio de Cd de 0,171 mg/kg em amostras de músculo de camarão *M. rosenbergii* coletadas no mercado de Kolaba, na Índia.

Quanto ao Al, as maiores concentrações encontradas nos órgãos podem estar diretamente ligadas à biodisponibilidade do metal no meio ambiente. O alumínio está amplamente distribuído pelos compartimentos terrestres e é transportado para o ambiente aquático através das chuvas e dos resíduos despejados em rios e córregos, levando ao seu acúmulo em diferentes tecidos dos camarões. No exoesqueleto, a assimilação pode ocorrer através da adsorção desse metal do meio ambiente (Soni et al., 2001).

A concentração de metais pesados no camarão é influenciada por vários fatores, incluindo o efeito dos produtos químicos no organismo, a sua afinidade para se ligarem a

materiais específicos e o conteúdo e composição lipídica nos tecidos do camarão (Onwubiko et al., 2020).

O acúmulo de Cd apresentou variações entre machos e fêmeas, sendo que as fêmeas da Ilha de Santana apresentaram menor acúmulo de Cd em comparação aos machos de Mazagão, onde foram observados níveis mais elevados. As fêmeas, em geral, apresentaram concentrações mais baixas de Al e Cd em seu exoesqueleto em todos os locais de coleta. Por outro lado, os órgãos de ambos os sexos exibiram as maiores concentrações de metais.

A ecdise, o processo de troca do exoesqueleto, pode facilitar a desintoxicação de metais, incluindo Cd e Al, nos organismos (Pourimani et al., 2021). Silva et al. (2016) descobriram acúmulos de Al variando de 65,0 a 138,0 mg/kg no tecido muscular do camarão marinho *Penaeus vannamei*, 60,7 a 886,5 mg/kg em órgãos e 13,4 a 206,7 mg/kg no exoesqueleto. Em *M. rosenbergii* da região de Khulna, em Bangladesh, foram identificadas concentrações musculares de 12 mg/kg de Al (Almed et al., 2023). As concentrações de cádmio no camarão atingiram 0,178 mg/kg no músculo na China (Yu et al., 2020).

Os tecidos musculares de várias espécies de camarões marinhos, incluindo *Acetes japonicus*, *Fenneropenaeus chinensis* e *Metapenaeus joyneri*, exibiram acúmulos médios de Al variando de 3,24 a 77 mg/kg (Habte et al., 2015). Fatores como taxas metabólicas de organismos, duração da exposição e biodisponibilidade de metais na água influenciam a contaminação da biota. Condições ambientais como pH, temperatura, salinidade, níveis de nutrientes, matéria orgânica e carbono também desempenham um papel no acúmulo de metais no corpo (Habte et al., 2015).

No presente estudo, a concentração máxima de Al no músculo do sexo masculino foi de $1.234,17 \pm 1.171,51$ mg/kg, e de $1.121,84 \pm 848,50$ mg/kg no sexo feminino. Diferentes estudos relataram a concentração de Cd e sua toxicidade em camarões (Páez-Osuna e Ruíz-Fernández, 1995; Páez-Osuna e Tron-Mayen, 1996; Vanegas et al., 1997; Soegianto et al., 1999; Santos et al., 1999; Santos et al., 2013). Além disso, no seu trabalho com *P. vannamei*, Pourimani et al. (2021) encontraram $1,22 \pm 0,06$ mg/kg de Al no músculo, $1,26 \pm 0,02$ mg/kg no exoesqueleto, $1,06 \pm 0,07$ mg/kg no músculo e $1,46 \pm 0,05$ mg/kg no exoesqueleto em *Metapenaeus*. Olgunoğlu (2015) detectou concentrações de Al de 0,15 a 0,66 mg/kg no músculo e $2,32 \pm 0,13$ mg/kg nas gônadas da espécie *Penaeus indicus*. Em espécies de camarões marinhos como *Plesionika martia*, $0,40 \pm 0,17$

mg/kg de Al foram encontrados no músculo, $0,39 \pm 0,18$ mg/kg em *Plesionika edwardsii* e $0,583 \pm 0,20$ mg/kg em *Aristeus antenatus*.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, os resultados indicam, que as concentrações máximas de Cd e Al nos tecidos do camarão amazônico excedem os níveis permitidos para consumo humano nos três locais de estudo. Consequentemente, é fortemente recomendado que o camarão proveniente destes locais não seja consumido por seres humanos. Esses níveis elevados de Cd e Al na carcinicultura são prejudiciais à reprodução dos camarões, representando um desafio significativo para a formação de plantéis reprodutores.

Os resultados observados no município de Mazagão, onde as concentrações de Cd e Al ultrapassaram os limites recomendados pela FAO, destacam a extensa contaminação de Al e Cd na região amazônica. Isto é digno de nota, uma vez que Mazagão, caracterizada pela menor influência de atividades antrópicas entre os locais de estudo, reflete a gravidade do problema em toda a região. Sublinha a urgência de abordar e controlar a contaminação por metais pesados nesta área ecologicamente importante.

5 REFERÊNCIAS

- Agbugui, M. & Abe, G. (2023). Analysis of trace metal bioaccumulation in fish and man; health risk impact. *International Journal of Fisheries and Aquaculture Research*, 9, 32-59. <https://doi.org/10.37745/ijfar.15>
- Agüero-Fernández, Y.M., Martín-Manzo, M.V., Soberanes-Yepiz, M.L., García-Guerrero, M.U., Méndez-Martínez, Y., Hernández-Hernández, L.H., López-Greco, L.S. & Cortés Jacinto, E. (2022). Recent advances on research of native prawn *Macrobrachium americanum* (Decapoda: Palaemonidae) with aquaculture and conservation purposes. *Marine and Fishery Sciences*, 35, 421-430. <https://doi.org/10.47193/mafis.3532022010906>
- Ahmed, S., Uddin, M.F., Hossain, M.S., Jubair, A., Islam, M.N. & Rahman, M. (2023). Heavy metals contamination in shrimp and crab from southwest regions in Bangladesh: Possible health risk assessment. *Toxicology Reports*, 10, 580-588. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2023.05.001>

- Albuquerque, F.E.A., Minervino, A.H.H., Miranda, M., Herrero-Latorre, C., Barrêto-Júnior, R.A., Oliveira, F.L.C., Dias, S.R., Ortolani, E.L. & López-Alonso, M. (2020). Toxic and essential trace element concentrations in the freshwater shrimp *Macrobrachium amazonicum* in the Lower Amazon, Brazil, *Journal of Food Composition Analysis*, 86, 103361. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103361>
- Almeida, J., Raposo, A., Moreira, P., Andrade, I., Paulino, K. & Lima, F. (2016). Influência da sociedade urbana na identidade cultural e socioeconômica de moradores da comunidade de Cachoeirinha, Ilha de Santana, Santana, Amapá, Amazônia, Brasil. *CIAIQ* 2016, 3.
- ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2019). Peixe do rio Doce: riscos do consumo -Anvisa avaliou dados coletados sobre presença de metais em pescados na foz e na bacia do rio Doce. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2019/peixe-do-rio-doce-riscos-do-consumo>. Acesso em: 02 out. 2023.
- Azar, H. & Vajargah, M.F. (2023). Investigating the effects of accumulation of lead and cadmium metals in fish and its impact on human health. *Journal of Aquaculture & Marine Biology*, 12, 209-213. <https://doi.org/10.15406/jamb.2023.12.00376>
- Barros, C.S., Dias, A.J.S., Façanha, N.P.B. & Silva, G.A. (2023). Avaliação comparativa do potencial bioindicador do *Macrobrachium amazonicum* em ambientes aquáticos. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 17, 1-16. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v17n1-005>
- Biswas, C., Soma, S.S., Rohani, M.F., Rahman, M.H., Bashar, A. & Hossain, M.S. (2021). Assessment of heavy metals in farmed shrimp, *Penaeus monodon* sampled from Khulna, Bangladesh: An inimical to food safety aspects. *Heliyon*, 7(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06587>
- BRASIL (2013). Instrução Normativa RDC n. 42 de 29 de agosto de 2013. Aprova o “Regulamento técnico MERCOSUL sobre limites máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos”. ANVISA –Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: www.anvisa.gov.br. Acesso em: 01 de março de 2018
- Bryliński, Ł., Kostelecka, K., Woliński, F., Duda, P., Góra, J., Granat, M., Flieger, J., Teresiński, G., Buszewicz, G., Sitarz, R. & Baj, J. (2023). Aluminum in the human brain: Routes of penetration, toxicity, and resulting complications. *International Journal of Molecular Sciences*, 24, 7228. <https://doi.org/10.3390/ijms24087228>

- Chen, S-M. & Chen, J-C. (2003). Effects of pH on survival, growth, molting and feeding of giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*, *Aquaculture*, 218, 613-623. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00265-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00265-X).
- Costa, D.P. & Miranda-Filho, K.C. (2020). The use of carotenoid pigments as food additives for aquatic organisms and their functional roles. *Reviews in Aquaculture*, 12, 1567-1578. <https://doi.org/10.1111/raq.12398>
- Cresswell, T., Simpson, S.L., Smith, R.E., Nugegoda, D., Mazumder, D. & Twining, J. (2014). Bioaccumulation and retention kinetics of cadmium in the freshwater decapod *Macrobrachium australiense*. *Aquatic Toxicology*, 148, 174-183. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2014.01.006>
- Dahiya, V. (2022). Heavy metal toxicity of drinking water: A silent killer. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 19, 20-25. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2022.19.1.0107>
- Das, S., Tseng, L.C., Chou, C., Wang, L., Souissi, S. & Hwang, J.S. (2019). Effects of cadmium exposure on antioxidant enzymes and histological changes in the mud shrimp *Austinoegbia edulis* (Crustacea: Decapoda). *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 7752-7762. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-04113-x>
- De Almeida, G.S., Britto, E.N., da Rocha Sarmiento, B.C., Moroni, F.T. & Borges-Moroni, R. (2023). Avaliação descritiva das características morfométricas de camarões canela *Macrobrachium amazonicum* que não sobreviveram durante o período de aclimação. *Brazilian Journal of Development*, 9(2), 6784-6797. <https://doi.org/10.34117/bjdv9n2-043>
- Dos Santos, V.F., Júnior, B.B.N., Souza, F.M. & Silva, L.M.A. (2022). Amapá: A coastal state – reflections on vulnerabilities, risks, and adaptations to climate change. *Encontros e Percepções Geográficas: Diálogos e Provocações*, 110. <https://doi.org/10.51324/54180221.8>
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2022). Global Aquaculture Production 1950-2020. Fishery Statistical Collections. Rome, Italy, FAO. Disponível em: <https://www.fao.org/fishery/en/statistics/global-aquaculture-production/query/en>. Access in: 02 out. 2023.
- FAO/WHO - Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization (2019). Codex Alimentarius Commissio. Procedural Manual. Joint FAO/WHO Food Standards Programme, FAO/WHO, Rome, 2019, 258 p. <https://www.fao.org/3/ca2329en/CA2329EN.pdf>

- Firat, Ö., Gök, G., Çoğun, H.Y., Yüzereroğlu, T.A. & Kargin, F. (2008). Concentrations of Cr, Cd, Cu, Zn and Fe in crab *Charybdis longicollis* and shrimp *Penaeus semisulcatus* from the Iskenderun Bay, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 147, 117-123. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-0103-7>
- Georgina, A., Rivera-Ingraham, M.A., Vigouroux, R., Solé, M., Brokordt, K., Lignot, J-H. & Freitas, R. (2021). Are we neglecting Earth while conquering space? Effects of aluminized solid rocket fuel combustion on the physiology of a tropical freshwater invertebrate. *Chemosphere*, 268. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128820>.
- Habte, G., Choi, J.Y., Nho, E.Y., Oh, S.Y., Khan, N., Choi, H., Park, K.S. & Kim, K.S. (2015). Determination of toxic heavy metal levels in commonly consumed species of shrimp and shellfish using ICP-MS/OES. *Food Science and Biotechnology*, 24, 373-378. <https://doi.org/10.1007/s10068-015-0049-4>
- Idrus, F.A., Basri, M.M., Rahim, K.A.A. & Lee, A.C. (2021). Metal contamination in *Macrobrachium rosenbergii* from Sarawak River, Malaysia and its health risk to humans. *Nature Environment and Pollution Technology*, 20(2), 499-507. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2021.v20i02.006>
- Järup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*, 68, 167-182. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg032>.
- Kaoud, H.A. & Eldahshan, R.A. (2010). Bioaccumulation of cadmium in the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Nature and Science*, 8, 157-168. <http://www.sciencepub.net/>
- Krewski, D., Yokel, R.A., Nieboer, E., Borchelt, D., Cohen, J., Harry, J., Kacew, S., Lindsay, J., Mahfouz A.M. & Rondeau, V. (2007). Human health risk assessment for aluminum, aluminum oxide, and aluminum hydroxide. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 10, 1-269. <https://doi.org/10.1080/10937400701597766>
- Kumaresan, V., Palanisamy, R., Pasupuleti, M. & Arockiaraj, J. (2017). Impacts of environmental and biological stressors on the immune system of *Macrobrachium rosenbergii*. *Reviews in Aquaculture*, 9(3), 283-307. <https://doi.org/10.1111/raq.12139>
- Liu, X., Jiang, H., Ye, B., Qian, H., Guo, Z., Bai, H., Gong, J., Feng, J. & Ma, K. (2021). Comparative transcriptome analysis of the gills and hepatopancreas from

- Macrobrachium rosenbergii* exposed to the heavy metal Cadmium (Cd^{2+}). *Scientific Reports*, 11, 16140. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95709-w>
- Loghmani, M., Sadeghi, P. & Sharifian, S. (2023). Bioaccumulation of metals in Pacific White-Leg Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and sediment in shrimp farms of Gwatr Bay, Iran: Effects of culture cycle and diet. *Thalassas : An International Journal of Marine Sciences*, 2023. <https://doi.org/10.1007/s41208-023-00592-z>
- Naija, A. & Yalcin, H.C. (2023). Evaluation of cadmium and mercury on cardiovascular and neurological systems: Effects on humans and fish. *Toxicology Reports*, 10, 498-508. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2023.04.009>
- Olgunoğlu, M.P. (2015). Heavy metal contents in muscle tissues of three deep-seawater Mediterranean shrimp species (*Plesionika martia*, *Plesionika edwardsii*, *Aristeus antennatus*). *Polish Journal of Environmental Studies*, 24(6), 2553-2557. <https://doi.org/10.15244/pjoes/58945>
- Oliveira, M.J. (2021). Diagnóstico do setor mineral do Estado do Amapá. Macapá: IEPA-Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá, 2010. 150 p. http://www.iepa.ap.gov.br/arquivopdf/diagnostico_mineral_amapa.pdf
- Onwubiko, C.C., Onuoha, E.M. & Anukwa, F.A. (2020). Heavy metals pollution index in African River prawn (*Macrobrachium vollehovienii*) collected from Calabar River, Nigeria. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 5(3). <https://dx.doi.org/10.22161/ijjeab.53.18>
- Páez-Osuna, F. & Ruiz-Fernandez, C. (1995). Trace metals in the Mexican shrimp *Penaeus vannamei* from estuarine and marine environments. *Environmental Pollution*, 87(2), 243-247. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(94\)P2612-D](https://doi.org/10.1016/0269-7491(94)P2612-D)
- Páez-Osuna, F. & Tron-Mayen, L. (1996). Concentration and distribution of heavy metals in tissues of wild and farmed shrimp *Penaeus vannamei* from the northwest coast of Mexico. *Environment International*, 22(4), 443-450. [https://doi.org/10.1016/0160-4120\(96\)00032-3](https://doi.org/10.1016/0160-4120(96)00032-3)
- Pourimani, R., Dastjerdi, M.H.C., Farahani, E.H.A. & Siavashani, R.A. (2021). Trace elements analysis in the muscles and shell of shrimp in Iran using neutron activation technique. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 45, 2161-2167. <https://dx.doi.org/10.1007/s40995-021-01182-5>
- Revathi, P., Vasanthi, L.A. & Munuswamy, N. (2011). Effect of cadmium on the ovarian development in the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (De Man).

Ecotoxicology and Environmental Safety, 74, 623-629.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.08.027>

- Ruelas-Inzunza, J. & Páez-Osuna, F. (2004). Distribution and concentration of trace metals in tissues of three penaeid shrimp species from Altata-Ensenada del Pabellon Lagoon (s.e. Gulf of California). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 72, 452-459. <https://doi.org/10.1007/s00128-004-0267-6>
- Russell, A., MacFarlane, G.R., Nowak, B., Moltschanivskyj, N.A. & Taylor, M.D. (2019). Lethal and sub-lethal effects of aluminum on a juvenile penaeid shrimp. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*, 35, 359-368. <https://dx.doi.org/10.1007/s41208-019-00152-4>
- Santos, É.J., Santos, A.B., Herrmann, A.B., Kulik, S., Baika, L.M., Tormen, L. & Curtius, A.J. (2013). Simultaneous determination of Pb and Cd in seafood by ICP OES with on-line pre-concentration by solid phase extraction with amberlite XAD-4 after complex formation with DDTP. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 56(1), 127-134. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132013000100017>
- Sarkar, T., Alam, M.M., Parvin, N., Fardous, Z., Chowdhury, A.Z., Hossain, S., Haque, M.E. & Biswas, N. (2016). Assessment of heavy metals contamination and human health risk in shrimp collected from different farms and rivers at Khulna-Satkhira region, Bangladesh. *Toxicology Reports*, 3, 346-350. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2016.03.003>
- Satarug, S., Baker, J.R., Urbenjapol, S., Haswell-Elkins, M., Reilly, P.E., Williams, D.J. & Moore, M.R. (2003). A global perspective on cadmium pollution and toxicity in non-occupationally exposed population. *Toxicology Letters*, 137, 65-83. [https://doi.org/10.1016/S0378-4274\(02\)00381-8](https://doi.org/10.1016/S0378-4274(02)00381-8)
- Silva, E., Viana, Z.C.V., Onofre, C.R.E., Korn, M.G.A. & Santos, V.L.C.S. (2016). Distribution of trace elements in tissues of shrimp species *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) from Bahia, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 76, 194-204. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.17114>
- Soegianto, A., Charmantier-Daures, M., Trilles, J.P. & Charmantier, G. (1999). Impact of cadmium on the structure of gills and epipodites of the shrimp *Penaeus japonicus*. *Aquatic Living Resources*, 12(1), 57-60. [http://dx.doi.org/10.1016/S0990-7440\(99\)80015-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0990-7440(99)80015-1)
- Song, C., Sun, C., Liu, B. & Xu, P. (2023). Oxidative Stress in Aquatic Organisms. *Antioxidants*, 12, 1223. <https://doi.org/10.3390/antiox12061223>

- Soni, M.G., White, S.M., Flamm, W.G. & Burdock, G.A. (2001). Safety evaluation of dietary aluminum. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 33(1), 66-79. <https://doi.org/10.1006/rtph.2000.1441>
- Sundaray, S.K., Nayak, B.B., Lin, S. & Bhatta, D. (2011). Geochemical speciation and risk assessment of heavy metals in the river estuarine sediments - a case study: Mahanadi basin, India. *Journal of Hazardous Materials*, 186, 183-193. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.12.081>
- Tabinda, A.B., Hussain, M., Ahmed, I., & Yasar, A. (2010). Accumulation of toxic and essential trace metals in fish and prawns from Keti Bunder Thatta District, Sindh. *Pakistan Journal of Zoology*, 42(5), 631-638. [https://zsp.com.pk/pdf/631-638%20\(19\)%20PJZ-195-09.pdf](https://zsp.com.pk/pdf/631-638%20(19)%20PJZ-195-09.pdf)
- Vanegas, C., Espina, S., Botello, A.V. & Villanueva, S. (1997). Acute toxicity and synergism of cadmium and zinc in White shrimp, *Penaeus setiferus*, Juveniles. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 58(1), 87-92. <http://dx.doi.org/10.1007/s001289900304>. PMID:8952930
- Wang, L., Guan, T., Wang, G., Gu, J., Wu, N., Zhu, C., Wang, H. & Li, J. (2023). Effects of copper on gill function of juvenile oriental river prawn (*Macrobrachium nipponense*): Stress and toxic mechanism, *Aquatic Toxicology*, 261, 106631. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2023.106631>.
- Wang, W.X. & Rainbow, P.S. (2008). Comparative approaches to understand metal bioaccumulation in aquatic animals. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 148(4), 315-323. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2008.04.003>
- WHO - World Health Organization (2007). Safety evaluation of certain food additives and contaminants. Sixty-seventh meeting of the Joint Expert Committee on Food Additives, Geneva, 2007. <https://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v58je01.pdf>
- Yu, B., Wang, X., Dong, K. F., Xiao, G. & Ma, D. (2020). Heavy metal concentrations in aquatic organisms (fishes, shrimp and crabs) and health risk assessment in China. *Marine Pollution Bulletin*, 159, 111505. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111505>
- Zodape, G.V. (2014). Metal contamination in commercially important prawns and shrimps species collected from Malad market of Mumbai suburb of India. *Nature Environment and Pollution Technology*, 13(1), 125-131.

<https://www.researchgate.net/publication/318672338>

7. CONSIDERAÇÕES

Diante do exposto, os resultados obtidos neste estudo contribuíram para conhecimento relacionado à captura de camarões para formação de planteis de reprodutores em atividade aquícola e sua ingestão como fonte de nutrientes. De acordo com as quantidades acumuladas dos metais alumínio (Al) e cádmio (Cd) no tecido muscular dos camarões *M. amazonicum*, capturados nos distritos de Bailique, Ilha de Santana e Mazagão, sugerimos que seu consumo seja evitado. Em relação às concentrações de minerais essenciais Ferro (Fe) e Zinco (Zn), neste tecido, o limite máximo na quantidade de ingestão diária seria de 96,52 g para Fe e de 226,81 g para Zn. Desta forma, a captura de exemplares de *M. amazonicum* deveria ser direcionada exclusivamente para a criação em cativeiro para fins de pesquisa, evitando futuras atividades extrativistas e a contaminação humana por metais pesados. Maiores cuidados deveriam ser tomados em relação às atividades antrópicas poluidoras, pois o cenário observado evidencia o comprometimento ambiental por poluentes inorgânicos. Recomendamos que novos estudos sejam realizados para a detecção de outros poluentes, tanto orgânicos quanto inorgânicos, visando embasar decisões voltadas para a preservação ambiental.