



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCIÊNCIAS
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ANNA THEREZA DE OLIVEIRA BARBOSA

***CAIMAN LATIROSTRIS* (DAUDIN 1802) (JACARÉ-DE-PAPO-AMARELO) COMO
BIOMONITOR DE CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL NA REGIÃO
METROPOLITANA DO RECIFE**

Recife
2023

ANNA THEREZA DE OLIVEIRA BARBOSA

***CAIMAN LATIROSTRIS* (DAUDIN 1802) (JACARÉ-DE-PAPO-AMARELO) COMO
BIOMONITOR DE CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL NA REGIÃO
METROPOLITANA DO RECIFE**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à coordenação do Curso de
Bacharelado em Ciências Biológicas da
Universidade Federal de Pernambuco,
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Jozélia Maria de Sousa Correia

Co-orientadora: MSc. Rayssa Lima dos Santos

Recife

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Barbosa, Anna Thereza de Oliveira.

Caiman latirostris (DAUDIN 1802) (Jacaré-de-papo-amarelo) como
biomonitor de contaminação ambiental na Região Metropolitana do Recife /
Anna Thereza de Oliveira Barbosa. - Recife, 2023.

112 p. : il., tab.

Orientador(a): Jozélia Maria de Sousa Correia

Cooorientador(a): Rayssa Lima dos Santos

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas - Bacharelado, 2023.

1. Elementos traços. 2. Crocodilianos. 3. Fauna urbana. I. Correia, Jozélia
Maria de Sousa . (Orientação). II. Santos, Rayssa Lima dos . (Coorientação). III.
Título.

590 CDD (22.ed.)

ANNA THEREZA DE OLIVEIRA BARBOSA

**CAIMAN LATIROSTRIS (DAUDIN 1802) (JACARÉ-DE-PAPO-AMARELO) COMO
BIOMONITOR DE CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL NA REGIÃO
METROPOLITANA DO RECIFE**

TCC apresentado ao Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico de Recife, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Aprovado em: 11/04/2023.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof^a. Dr^a. Jozélia Maria de Sousa Correia (Orientadora)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Cristiane Maria Varela de Araújo de Castro
Universidade Federal Rural de Pernambuco

MSc. Rafael Sá Leitão Barboza
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dedico este trabalho a minha amada família, Sandra Valeria, Moisés Barbosa (*in memoriam*) e Mayanna Ghabryella que nessa longa caminhada me deram apoio e me fizeram acreditar que esse sonho seria possível.

AGRADECIMENTOS

Terminar essa graduação sem dúvidas é a maior conquista da minha vida até aqui, foram anos árduos e inconstantes. Por esse motivo, agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, por Ele ter sido meu consolo, minha fortaleza e por me fazer capaz de vencer todos os obstáculos que apareceram em meu caminho.

Agradeço profundamente a minha família por sonhar o meu sonho junto comigo e caminhar ao meu lado, especialmente aos meus pais. Minha mãe, Sandra Valeria pelas orações que sempre me fortaleceram, pelo seu amor e por todo “sacrifício” feito para que eu pudesse alcançar meus objetivos; Ao meu pai, Moisés Barbosa (*in memoriam*) por não medir esforços para suprir minhas necessidades pessoais e acadêmicas. Mesmo não estando mais presente fisicamente, seu amor e cuidado sempre me acompanha e me inspira. A minha “irmã” Mayanna Ghabryella por ser minha companheira de vida e me apoiar incondicionalmente. Além disso, agradeço ao amor da minha vida, Roseno Neto, por sempre se fazer presente me dando todo apoio e incentivo para que eu superasse os obstáculos. Sem vocês nada do que realizei seria possível. Sou muito grata por tê-los ao meu lado nessa jornada.

Quero expressar minha gratidão aos meus amigos que são como irmãos e irmãs para mim; Sidnei, alguém que tenho o prazer de compartilhar todos os momentos da minha vida desde a infância, sempre acreditou na minha capacidade de vencer e me incentivou quando eu mais precisei; Amanda, minha companheira de profissão, uma amiga sem igual, alguém que sempre esteve disponível para me conceder seu ombro amigo (obrigada por aguentar meus surtos); Xúlia (Júlia), obrigada pelos conselhos, pelas palavras motivacionais e por me tirar sorrisos mesmo nos meus dias tristes. Vocês são essenciais na minha vida.

Agradeço aos amigos que fiz durante a graduação, Amanda, Antônio Carlos, Matheus e Marcos pelos desesperos, conhecimentos, risos e lágrimas compartilhadas.

Agradeço aos amigos que tive o prazer de conhecer através da minha participação no LIAR/Projeto jacaré, em especial as minhas “najinhas” Iza e Laura que foram meus pilares de força e minha melhor companhia dentro do laboratório. Vocês sempre ocuparão um espaço especial em meu coração. A Caio meu companheiro de ônibus no longo caminho de volta para casa. Foi e é um alívio poder compartilhar a vida profissional e pessoal com vocês. Minha tropa, o que a fofoca uniu nada separa então: fiquem sempre ligados; Aline, Carlos, Gabi, Gabriel, Lucas e Malu obrigada pela troca de aprendizado, pelas conversas comendo pão de alho e

por deixar mais leve os dias cansativos e estressantes de trabalho. Lembrem-se que seremos para sempre como um cardume. Além disso, sou extremamente grata por ter a oportunidade de aprender e trabalhar com profissionais de primeira classe como: Albinha, Braga, Edi, Haggy e Rafa. Vocês não tem noção do exemplo que são para mim.

Agradeço também as mulheres que me inspiram dentro e fora do ramo acadêmico, minha querida orientadora e amiga, Dr^a Jozelia Correia por abrir as portas do LIAR, me aceitar de braços abertos e confiar no meu trabalho. A MSc. Rayssa Lima, a quem eu tenho a honra de ter como co-orientadora e parceira fora da universidade, obrigada por me treinar com toda dedicação e compreensão. Grande parte do que sou profissionalmente devo a vocês!

À Universidade Federal de Pernambuco pela formação de excelência;

Ao LIAR por todo apoio durante a pesquisa;

Ao CETRAS pela parceria e disponibilidade para a realização das coletas;

A equipe de técnicos do CNAPESQ pelo apoio durante a análise dos dados; A George Tadeu do Aggeu Magalhaes-NEG pelo apoio para a realização das análises estatísticas.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação, eu agradeço do fundo do meu coração!

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois, o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar” (BÍBLIA, Josué 1:9).

RESUMO

O aumento da contaminação ambiental por elementos químicos tem sido intensificado pelas inúmeras atividades humanas. Esta antropogenicidade tem causado impactos nos corpos hídricos, colocando em risco a saúde de ambientes e da biota aquática, incluindo os crocodilianos. Devido às suas características biológicas, estes animais são utilizados como bioindicadores de contaminação ambiental, refletindo possíveis danos causados por exposição à xenobióticos. Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as concentrações de elementos traços (Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) em amostras biológicas de *Caiman latirostris* (jacaré-de-papo-amarelo) resgatados na Região Metropolitana do Recife - Estado de Pernambuco, correlacionando os valores encontrados às variáveis matriz biológica, sexo e classe etária. Os animais utilizados na pesquisa foram oriundos do Centro de Triagem e Reabilitação de Animais Silvestres – CETRAS Tangará (CPRH). No período de 2014 a 2020, os jacarés resgatados foram triados para avaliar o seu estado clínico, sexados, medidos e coletadas amostras de sangue, escama, pele e músculo. As amostras foram congeladas em freezer -20°C até a etapa analítica e posteriormente pesadas, digeridas com HNO₃ 65% em forno microondas analítico, em seguida, filtradas e diluídas para leitura em Espectrômetro de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES). Foram coletadas amostras de 53 indivíduos (20 fêmeas, 33 machos) enquadrados nas classes etárias: Subadultos (n= 30) e Adultos (n= 23). No total, foram analisadas 382 amostras para detecção e quantificação dos contaminantes, sendo elas: Escama (n= 106), Pele (n= 104), músculo (n=66) e Sangue (n=106). De modo geral, Al, Fe e Zn apresentaram as concentrações mais elevadas em comparação aos outros elementos para todas as matrizes. A matriz sangue (Fe> Zn> Al> Cu> Mn> Cr> Pb> Cd> Ni) apresentou os níveis mais altos de metais ($p < 0,0001$), seguido da escama (Zn> Al> Fe> Cu> Mn> Cr> Pb> Cd> Ni) ($p < 0,0001$), músculo (Zn> Al> Fe> Cu> Mn> Cr> Pb> Cd> Ni) ($p > 0,05$) e pele (Zn> Al> Fe> Cu> Mn> Cr> Cd> Ni> Pb) ($p > 0,05$). Quando avaliado o parâmetro sexo, observou-se que os machos apresentaram as medianas de concentrações mais altas que as fêmeas no sangue para o elemento Al ($0,260 \pm 0,280 \text{ mg L}^{-1}$, $p = 0,0032$) e as fêmeas apresentaram as medianas de concentrações mais altas que os machos no músculo para o elemento Zn ($0,330 \pm 0,140 \text{ mg L}^{-1}$, $p = 0,0531$). Em relação a classe etária, diferenças significativas foram observadas entre indivíduos adultos vs subadultos na matriz escama para os elementos Al ($p = 0,0008$), Fe ($p = 0,0127$) e Zn ($p = 0,0108$), no qual

os indivíduos adultos mostraram concentrações mais elevadas. Todas as concentrações estiveram dentro dos Limites Máximos Tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos, exceto para o ferro, que obteve um valor maior. Este estudo evidencia que a utilização de matrizes biológicas não letais pode comprovar a exposição dos crocodilianos aos contaminantes presentes nos corpos hídricos das áreas urbanas. Portanto, recomenda-se a utilização da matriz sanguínea para obter uma resposta recente e a matriz escama como testemunho de uma contaminação histórica no ambiente. Além disso, esse trabalho demonstrou a eficácia do *Caiman latirostris* como um biomonitor ambiental.

Palavras-chaves: Elementos traços; Crocodilianos; Fauna urbana.

ABSTRACT

The increase in environmental contamination by chemical elements has been intensified by numerous human activities. This anthropogenic impact has caused impacts on water bodies, endangering the health of the environment and aquatic biota, including crocodilians. Due to their biological characteristics, these animals are used as bioindicators of environmental contamination, reflecting possible damages caused by exposure to xenobiotics. Given this context, the aim of this study was to evaluate the concentrations of trace elements (Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, and Zn) in biological samples of *Caiman latirostris* (broad-snouted caiman) rescued in the Metropolitan Region of Recife - State of Pernambuco, correlating the values found with biological matrix variables, sex, and age class. The animals used in the research came from the Tangará Center for Wildlife Screening and Rehabilitation - CPRH. From 2014 to 2020, rescued caimans were screened to evaluate their clinical status, sexed, measured, and biological samples such as blood, scales, skin, and muscle were collected. The samples were frozen at -20°C until the analytical step and subsequently weighed, digested with 65% HNO_3 in an analytical microwave oven, filtered, and diluted for reading on an Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES). Samples were collected from 53 individuals (20 females, 33 males) classified into age classes: Subadults ($n = 30$) and Adults ($n = 23$). In total, 382 samples were analyzed for the detection and quantification of contaminants, including: Scales ($n=106$), Skin ($n=104$), Muscle ($n=66$), and Blood ($n=106$). In general, Al, Fe, and Zn presented the highest concentrations compared to the other elements for all biological matrices. The blood matrix ($\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Al} > \text{Cu} > \text{Mn} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{Cd} > \text{Ni}$) presented the highest levels of metals ($p < 0.0001$), followed by scales ($\text{Zn} > \text{Al} > \text{Fe} > \text{Cu} > \text{Mn} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{Cd} > \text{Ni}$) ($p < 0.0001$), muscle ($\text{Zn} > \text{Al} > \text{Fe} > \text{Cu} > \text{Mn} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{Cd} > \text{Ni}$) ($p > 0.05$), and skin ($\text{Zn} > \text{Al} > \text{Fe} > \text{Cu} > \text{Mn} > \text{Cr} > \text{Cd} > \text{Ni} > \text{Pb}$) ($p > 0.05$). When evaluating the sex parameter, it was observed that males had higher median concentrations than females in blood for the element Al ($0.260 \pm 0.280 \text{ mg L}^{-1}$, $p = 0.0032$) and females had higher median concentrations than males in muscle for the element Zn ($0.330 \pm 0.140 \text{ mg L}^{-1}$, $p = 0.0531$). Regarding the age class, statistical differences were observed between adult vs subadult individuals in the scale matrix for the elements Al ($p=0.0008$), Fe ($p=0.0127$), and Zn ($p=0.0108$), where adult individuals showed higher concentrations. All concentrations were within the Maximum Tolerated Limits (MTL) for contaminants in food, except for iron, which obtained a higher value. This study shows that the use of non-lethal biological

matrices can demonstrate the exposure of crocodilians to contaminants present in the water bodies of urban areas. Therefore, the use of blood matrix is recommended to obtain a recent response, and the scale matrix as evidence of historical contamination in the environment. Furthermore, this study demonstrated the effectiveness of *Caiman latirostris* as an environmental biomonitor.

Keywords: Trace elements; Crocodilians; Urban wildlife.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Registros de jacaré-de-papo-amarelo (*Caiman latirostris*) em ambiente urbano na Região Metropolitana do Recife com divulgação nos meios de comunicação.....20.
- Figura 2. Diferença associada à cabeça (mandíbulas e crânio) entre jacaré (A) e crocodilo (B).....23.
- Figura 3. Espécies de crocodilianos no Brasil. (A) Jacaré-açu (*Melanosuchus niger*); (B) Jacaré-tinga (*Caiman crocodilus*); (C) Jacaré-do-pantanal (*Caiman yacare*); (D) Jacaré-coroa (*Paleosuchus trigonatus*); (E) Jacaré-paguá (*Paleosuchus palpebrosus*); (F) Jacaré-de-papo-amarelo (*Caiman latirostris*).....24.
- Figura 4. Espécie jacaré-de-papo-amarelo (*Caiman latirostris*) e sua distribuição geográfica.....27.
- Figura 5. Interações entre população humana e jacaré-de-papo-amarelo (*Caiman latirostris*). Manipulação (A); Animal em óbito por emalhe com pesca (B).....29.

ARTIGO

- Figura 1. Mapa evidenciando os municípios da Região Metropolitana do Recife, Pernambuco, Brasil.....77.
- Figura 2. (A) Recinto de jacarés; (B) Captura com laço; (C) Contenção e imobilização; (D) Equipe nos procedimentos de triagem; (E) Sexagem; (F) Marcação com microchip; (G) Pesagem; (H) Biometria utilizando fita métrica; (I) Biometria utilizando paquímetro.....79.
- Figura 3. Amostras utilizadas no presente trabalho. (A) Coleta de sangue; (B) Coleta de escama.....80.
- Figura 4. (A) Pesagem das amostras; (B) Separação da alíquota do sangue; (C) Separação das matrizes biológicas (escama, pele e músculo); (D) Adição de ácido nítrico para digestão; (E) Forno micro-ondas; (F) Centrifugação; (G) Filtração e diluição das amostras; (H) Espectrômetro de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES).....76.

Figura 5. Concentrações médias dos elementos detectados alumínio (Al), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn) para amostras de escama (A), pele (B) músculo (C) e sangue (D) de *Caiman latirostris* capturados na Região Metropolitana do Recife, Pernambuco, Brasil.....85.

Figura 6. Concentrações nas matrizes de *Caiman latirostris* capturados na Região Metropolitana do Recife – Pernambuco. Onde o Al e o Zn apresentaram maiores as maiores concentrações para a matriz escama ($p < 0,0001$) e o Fe na matriz sangue ($p < 0,0001$).....86.

Figura 7. Concentrações de Al e Zn em escama e músculo (respectivamente) de fêmeas e machos de *Caiman latirostris* capturados na Região Metropolitana do Recife – Pernambuco, com machos apresentando as maiores concentrações (Al: $p = 0,0032$ e Zn: $p = 0,0531$).....91.

Figura 8. Concentrações de Al, Fe e Zn em escamas de jacarés subadultos (classe II) e adultos (classes III/IV) capturados na Região Metropolitana do Recife – Pernambuco, com maiores níveis em indivíduos adultos (Al: $P = 0,0008$, Fe: $P = 0,0127$ e Zn: $P = 0,0108$).....95.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Registros na literatura de estudos que utilizam crocodilianos como biondicadores de contaminantes no mundo em ordem cronológica.....	31.
Tabela 2. Elementos traços categorizados quanto a sua essencialidade, fonte natural e fonte antrópica.....	40.
Tabela 3. Limites máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos segundo as legislações nacionais e internacionais para alumínio (Al), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn).....	41.

ARTIGO

Tabela 1. Concentrações Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Ni e Zn nas matrizes biológicas (escama, pele, músculo, sangue) de <i>Caiman latirostris</i> na Região Metropolitana do Recife. Destaque para os elementos em que houve diferença estatisticamente significativa ($p < 0.0005$).....	83.
Tabela 2. Limites máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos segundo as legislações nacionais e internacionais para alumínio (Al), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn).....	87.
Tabela 3. Concentrações Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Ni e Zn em machos e fêmeas de <i>Caiman latirostris</i> capturados na Região Metropolitana do Recife, agrupados por matrizes biológicas. Destaque para as matrizes em que houve diferença estatisticamente significativa ($p < 0.0005$).....	88.
Tabela 4. Concentrações de Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Ni e Zn em indivíduos subadultos (Classe II) e adultos (Classe III/IV) de <i>Caiman latirostris</i> capturados na Região Metropolitana do Recife, Pernambuco (Brasil) agrupados por matrizes biológicas. Destaque para as matrizes em que houve diferença estatisticamente significativa ($p < 0,0005$).....	92.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al- Alumínio

ANVISA- Agência Nacional de Vigilância Sanitária

APAC- Agência Pernambucana de Águas e Climas

Cd- Cádmio

CENAPESQ- Centro de Apoio à Pesquisa

CETRAS- Centro de Triagem e Reabilitação de Animais Silvestres

CEUA- Comissão de Ética no Uso de Animais

CIPOMA- Companhia de Policiamento do Meio Ambiente

CPRH- Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco

Cr- Cromo

CRC- Comprimento Rostro Cloacal

CSG- Crocodile Specialist Group

CT- Comprimento Total

CTA- Conselho Técnico Administrativo

Cu- Cobre

FAO- Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

H₂O₂ - Peróxido de hidrogênio

HNO₃- Ácido nítrico

IBAMA- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

ICMBio- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

ICP-OES- Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente

IUCN- International Union for Conservation of Nature's

LIAR- Laboratório Interdisciplinar de Anfíbios e Répteis

LOD- Limite de detecção

LOQ- Limite de quantificação

Mg L- Miligrama por litro

Mn- Manganês

Ni- Níquel

OMS- Organização Mundial da Saúde

Pb- Chumbo

PbS- Sulfeto de chumbo (II)

RMR- Região Metropolitana do Recife

SISBIO- Sistema de autorização e informação em biodiversidade

UFRPE- Universidade Federal Rural de Pernambuco

WHO- Organização Mundial de Saúde

Zn- Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16.
2. OBJETIVOS.....	18.
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19.
3.1. ASPECTOS DA URBANIZAÇÃO SOBRE OS CROCODILIANOS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE.....	19.
3.2. BIOLOGIA E ECOLOGIA DOS CROCODILIANOS.....	21.
3.3. A ESPÉCIE <i>Caiman latirostris</i> (DAUDIN, 1802).....	25.
3.4. CONTAMINAÇÃO POR ELEMENTOS TRAÇOS NA BIOTA ÁQUATICA.....	29.
3.5. CROCODILIANOS COMO BIOINDICADORES E BIOMONITORES.....	30.
3.6. ASPECTOS TOXICOLÓGICOS DOS ELEMENTOS TRAÇOS.....	35.
3.6.1. Alumínio (Al).....	36.
3.6.2 Cadmio (Cd).....	36.
3.6.3 Chumbo (Pb).....	37.
3.6.4 Cromo (Cr).....	37.
3.6.5 Cobre (Cu)	38.
3.6.6 Ferro (Fe).....	39.
3.6.7 Manganês (Mn).....	39.
3.6.8 Níquel (Ni).....	40.
3.6.9 Zinco (Zn).....	40.
3.7. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA SOBRE CONTAMINANTES EM ALIMENTOS.....	42.
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44.
5. ARTIGO CIENTÍFICO.....	70.
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	112.

1. INTRODUÇÃO

Há uma crescente preocupação sobre a contaminação química do ambiente terrestre, aquático e atmosférico por metais e outros xenobióticos (DE LIMA e MEURER, 2014). Os elementos traços são encontrados naturalmente no ambiente, entretanto, com o aumento de atividades industriais e agrícolas houve a intensificação da contaminação e poluição desses ecossistemas, gerando um alerta global (GUILHERME et al., 2005; TELLEZ e MERCHANT, 2015). A poluição química dos corpos hídricos é acarretada a partir de duas categorias: A primeira é classificada como fonte difusa, e corresponde ao aporte dos contaminantes pela geologia, sendo dificilmente mensuradas. Ocorre principalmente através da lixiviação do solo, atividades agrícolas e drenagem de águas pluviais (WU et al., 1992; MITCHELL, 2005; SODRÉ, 2012). Já a segunda é classificada como fonte pontual, originada a partir do descarte dos efluentes domésticos e industriais de forma recorrente em locais específicos sendo mais facilmente identificada (BARROS, 2008; SODRÉ, 2012).

A Região Metropolitana do Recife, situada em Pernambuco, está entre as cinco maiores áreas urbanas do Brasil, sendo assim, enfrenta diversos desafios (IBGE, 2020). Sua extensa malha fluvial é compsta por águas salgadas do Oceano Atlântico e pelas águas dos rios, canais, açudes e lagoas (NASCIMENTO, 2003). Devido ao crescimento populacional, os corpos hídricos recebem constantes despejos de efluentes domésticos, das galerias pluviais e de diversos tipos de indústrias, além disso, a RMR possui tráfego intenso de embarcações que pode liberar óleos e outros poluentes comprometendo a qualidade da água causando danos em toda biota local (SOUZA et al., 2008; BARROS et al., 2009; NÓBREGA, 2011).

Diante deste contexto, o biomonitoramento se tornou uma ferramenta científica importante para avaliar e fornecer informações sobre a qualidade do ambiente (ZHOU et al., 2008). Diversos organismos são utilizados para a realização das pesquisas de biomonitoramento, sendo eles: moluscos, peixes, insetos e répteis como os crocodilianos (RAINBOW, 1995; MARTINS, 2004; SCHNEIDER et al. 2015). Este último é considerado um bom biomonitor de poluição e contaminação ambiental por possuir ciclo de vida longo, resistência a ambientes contaminados, ampla distribuição geográfica, além de serem predadores topo de cadeia trófica

(VERDADE e PIÑA, 2006; POLETTA et al., 2008; SCHNEIDER et al., 2015; NILSEN et al., 2017).

Além da contaminação química, a expansão da urbanização, caça ilegal e fragmentação de habitats também são fatores que constituem ameaças aos crocodilianos (MASCARENHAS-JÚNIOR et al., 2018; CAMPOS et al., 2019). No estado de Pernambuco, a ocorrência de crocodilianos fora de seus habitats naturais - principalmente em áreas urbanas e periurbanas - é amplamente registrada principalmente durante o período chuvoso (FILOGONIO et al., 2010; MASCARENHA-JUNIOR et al., 2018; NEGROMONTE et al. 2021). Esta aclimação dos animais a áreas populosas e urbanas se dá devido ao desordenado desenvolvimento através da construção de moradias e indústrias, além da expansão de estradas, que causam a fragmentação ou destruição dos habitats naturais da biota (CURITIBA, 2012; DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL, 2013; LOPES, 2022).

No estado de Pernambuco o *Caiman latirostris* (DAUDIN, 1808), conhecido como jacaré-de-papo-amarelo, é a espécie de crocodiliano que tem o maior número de registros nas áreas urbanizadas (NEGROMONTE et al. 2021). É considerado um animal resistente em áreas urbanas comprovadamente contaminadas (FREITAS-FILHO, 2008). Os estudos de Santos, et al. (2021) e Cirilo (2019) com contaminantes metálicos na espécie *C. latirostris* realizados nos corpos hídricos do Parque Estadual de Dois Irmãos (Recife) e no reservatório do Tapacurá (São Lourenço da Mata) apresentam níveis de contaminação por alumínio, cobre, cromo, ferro, manganês e zinco. Entretanto, os estudos sobre bioacumulação de contaminantes em crocodilianos em áreas urbanizadas da Região Metropolitana do Recife para o monitoramento de ambientes aquáticos ainda são escassos.

Sendo assim, este estudo visa contribuir na análise de elementos metálicos em matrizes biológicas não letais (escama, pele, músculo e sangue) de crocodilianos urbanos e avaliar o potencial de *C. latirostris* como biomonitor da poluição em ambientes aquáticos na Região Metropolitana do Recife.

2. OBJETIVOS

Geral

Quantificar as concentrações de elementos metálicos em sangue, escama, pele e músculo de *Caiman latirostris* (jacaré-de-papo-amarelo) como biomonitor de contaminantes na Região Metropolitana de Recife, Pernambuco.

Específicos

- Avaliar a detectabilidade e concentrações dos elementos metálicos (Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) nas matrizes biológicas (escama, pele, músculo e sangue) em jacarés recebidos no Centro de Triagem de Animais Silvestres;
- Investigar se há correlação entre a classe etária e as concentrações detectadas nas matrizes biológicas dos jacarés;
- Correlacionar as concentrações dos elementos com o sexo dos animais capturados;
- Testar a eficácia das amostras biológicas não letais como indicador de contaminação em crocodilianos;
- Avaliar a espécie *Caiman latirostris* como biomonitor de contaminação ambiental no monitoramento de ambientes aquáticos.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. ASPECTOS DA URBANIZAÇÃO SOBRE OS CROCODILIANOS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE

A Região Metropolitana do Recife (RMR) está localizada na porção leste do estado de Pernambuco, Brasil. É a maior Região Metropolitana do Norte-Nordeste brasileiro englobando 14 municípios, sendo eles: Abreu e Lima, Araçoiaba, Cabo de Santo Agostinho, Camaragibe, Igarassu, Ilha de Itamaracá, Ipojuca, Itapissuma, Jaboatão dos Guararapes, Moreno, Olinda, Paulista, Recife e São Lourenço da Mata (FNEM, 2022). A RMR possui uma área territorial com cerca de 3.200 km², possuindo o clima tropical úmido (PREFEITURA DO RECIFE, 2023).

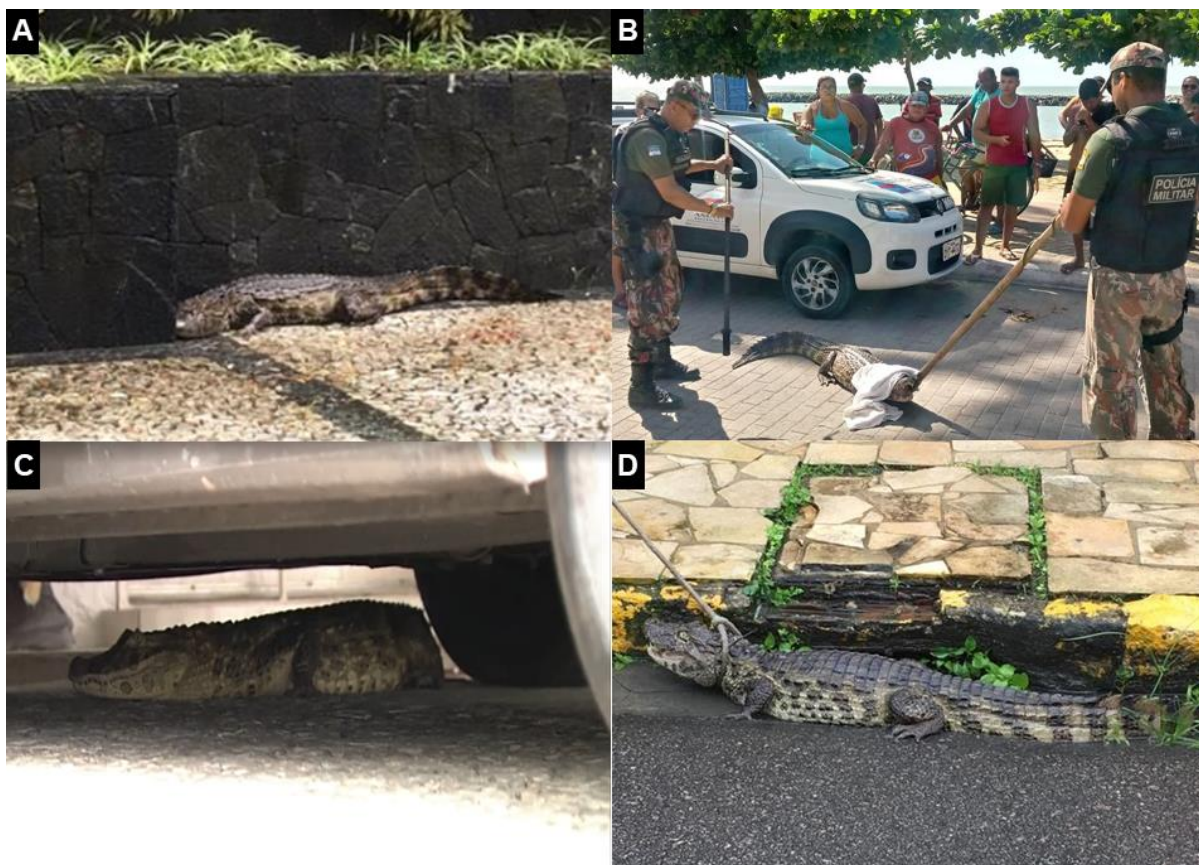
A RMR é composta por uma vasta rede hídrica natural integrada por rios, mangues e alagados formando uma grande malha fluvial (MARINHO et al. 2007). Os principais rios dessa região são: Capibaribe, Beberibe, Tejipió, Pirapama, Ipojuca, Timbó, Massangana, Botafogo, Jaboatão, Jangadinha, Jiquiá e Jordão (APAC, 2022; 2023). Após a apropriação dos seres humanos em áreas próximas dos cursos de água observou-se o aumento da poluição, maior quantidade de aterros e modificações nos trajetos dos rios (FILOGONIO et al., 2010).

Além disso, a RMR é responsável por abrigar 8% dos fragmentos da Mata Atlântica, que é um dos biomas brasileiros que abriga diversas espécies da fauna e da flora (GUIMARÃES et al., 2012). Todavia, como em grande parte dos centros urbanos existem algumas problemáticas ambientais como desmatamento, caça, comércio ilegal, atropelamentos de espécies entre outros (MORITA, 2009; GOGLIATH et al., 2010; NEGROMONTE, et al 2021).

O impacto direto ou indireto da urbanização sobre a biodiversidade tem causado a fragmentação do habitat, modificando sua estrutura física e biológica. Assim, muitas espécies migram para cidades buscando alimento e abrigo (SPONSEL, 2001; BRUN et al. 2007; SILVA, 2014). A consequência dessas interações pode ocasionar problemas de saúde pública. A consequência das interações entre crocodilianos e humanos pode ocasionar problemas de saúde pública como zoonoses bacterianas pelo gênero *Streptococcus* e pela família *Enterobacteriaceae* causando graves infecções (DESLANDES et al., 2008; NETO et al., 2013; DA SILVA et al., 2020).

Os crocodilianos estão dentro do grupo de vertebrado atingidos negativamente devido à coexistência com os seres humanos. Na RMR os períodos com a maior pluviosidade é exatamente a época em que se observa o maior número de resgates desses animais nas áreas urbanas (NEGROMONTE et al. 2021). Devido ao aumento das chuvas, são formados alagados provisórios que se tornam pontos de conexão para que os jacarés ocupem novos ninhos, proporcionando encontros ocasionais com seres humanos (MASCARENHAS JUNIOR et al., 2018) (FIGURA 1).

Figura 1. Registros de jacaré-de-papo-amarelo (*Caiman latirostris*) em ambiente urbano na Região Metropolitana do Recife com divulgação nos meios de comunicação.



Fonte: (A) Jornal Diário de Pernambuco, 2019; (B) Prefeitura Municipal do Paulista; (C) TV Globo/G1 PE, 2018; (D) JC online, 2019.

A fim de evitar maiores riscos para população, instituições especializadas para resgatar e direcionar a fauna no Estado de Pernambuco são acionadas, como a Companhia Independente de Policiamento do Meio Ambiente (CIPOMA), o Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco (BOMBEIROS), a Guarda Ambiental Municipal, a

Companhia Pernambucana de Recursos Hídricos (CPRH) e o Centro de Triagem e Reabilitação de Animais Silvestres (CETRAS). O resgate dos animais pode ocorrer a partir da entrega espontânea da população ou pela indicação da sua localização para captura (BORGES, 2006; MASCARENHA-JÚNIOR et al., 2018).

A gestão dos recursos faunísticos em Pernambuco ocorre de forma compartilhada entre a Agência Estadual de Meio Ambiente - CPRH e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. Esta decisão foi tomada através de um Acordo de Cooperação Técnica - ACT, em abril de 2014. Desde então, a CPRH conta com a estrutura do Centro de Triagem e Reabilitação de Animais Silvestres (CETRAS), que teve sua área inicial no chamado “Santuário dos Três Reinos” que foi cedida para instalação do Centro de Triagem, a partir de 2016, as atividades foram redirecionadas para o Antigo Chaparral, que veio a se tornar o atual CETRAS Tangará (SOUZA, 2021).

No Brasil a Instrução Normativa Nº 5 de 13 de maio de 2021 dispõe as diretrizes e procedimentos de destinação dos animais silvestres que dão entrada nos centros de triagem e reabilitação. O CETRAS tem função de receber, identificar, triar, avaliar, reabilitar (caso necessário) e destinar para locais específicos e protegidos os animais silvestres oriundos de resgates, entregas voluntárias ou de apreensão de fiscalização (MELLO et al., 2016; MARQUES et al., 2021; CPRH, 2022). A ação dos órgãos ambientais é de extrema importância, uma vez que busca mitigar através do manejo correto e da destinação precisa os impactos gerados pelo avanço da urbanização (CPRH, 2023).

3.2. BIOLOGIA E ECOLOGIA DOS CROCODILIANOS

Os Crocodilianos (crocodilos, jacarés e gaviais), são ocupantes que se destacam nos habitats aquáticos tropicais e subtropicais. O grupo é muito antigo com centenas de registros fósseis e com três radiações principais (ROSS, 1998). Todas as espécies de crocodilianos adaptaram-se a habitats alagados (pântanos, manguezais, rios, lagos, lagoas etc.). As espécies apresentam exigências variadas, algumas precisam de áreas grandes e diversas, outras são adaptáveis podendo persistir em áreas pequenas e habitats antropizados. Entretanto, a maioria das espécies exige áreas extensas (centenas de quilômetros quadrados) de ambiente sem interferência antrópica para manter grandes populações (ROSS, 1998).

Esses animais são ectotérmicos, ou seja, precisam do ambiente para regular sua temperatura corporal (CAMPOS et al., 2005). A temperatura está diretamente ligada com a biologia reprodutiva dos crocodilianos, pois o sexo dos indivíduos é determinado pela temperatura de incubação (BARRETO-LIMA et al., 2021), dependendo da espécie, 30°C ou menos dá origem a fêmeas, 31°C origina fêmeas e machos e entre 32 e 33°C da origem a machos (IUCN-CSG, 2023). Os crocodilianos são animais ovíparos e realizam a fertilização interna, sendo comum a paternidade múltipla (HALE et al., 2018;). De modo geral a quantidade de ovos pode variar de 10 a 50 dependendo do tamanho da fêmea e da espécie (ELEUTÉRIO et al., 2021), para o depósito dos ovos elas fazem ninhos enterrados geralmente na areia ou ninhos de montículo constituído de diversos substratos (folhas, galhos e raízes) (CAMPOS, 2003 IUNC, 2023) e possuem o cuidado parental ficando próximas ao ninho para defender os ovos e os filhotes após a eclosão (BARRETO-LIMA et al., 2021; CAMPOS et al., 2012).

Os crocodilianos formam um grupo taxonômico de grande relevância ecológica, pois estão localizados no topo da cadeia alimentar, sendo controladores de várias populações animais menores. Além disso, são de reconhecido potencial econômico mundial, especialmente pelo valor de sua pele, carne e subprodutos (ROSS, 1989; VERDADE, 2004; MASCARENHAS-JÚNIOR, 2018).

São animais carnívoros e oportunistas, eles possuem uma dieta generalista (BARRETO-LIMA et al., 2021). A amplitude da dieta dos jacarés aumenta substancialmente à medida que crescem, podendo variar de acordo com o habitat, disponibilidade de alimento, idade e tamanho dos indivíduos (MELO, 2002; NEVAREZ, 2009). Os jacarés jovens tendem a se alimentar de pequenos invertebrados, como insetos, gastrópodes, vermes, camarões, girinos e pequenos sapos. À medida que crescem, passam a comer pequenos peixes e cobras, sendo toda essa atividade alimentar regulada pela temperatura da água. Os adultos de grande porte são capazes de capturar e consumir qualquer presa aquática ou terrestre que vem ao seu alcance consomem mais peixes, répteis e aves. Os animais adultos, devido à sua dimensão, têm poucos predadores (KHAN e TANSEL, 2000; NEVAREZ, 2009; MUDREK, 2016).

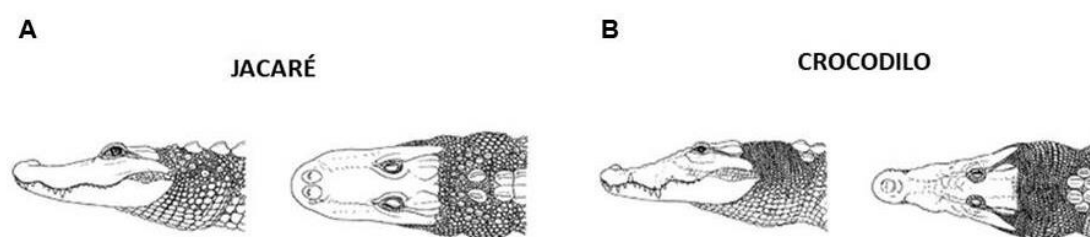
É atribuído aos crocodilianos efeitos positivos em seus ambientes, por ajudarem a manter a estrutura e a função do ecossistema através de suas atividades, como a predação seletiva de espécies e a capacidade de fazer o controle

biológico impedindo a superpopulação das espécies o que é fundamental para a manutenção do ecossistema (KING, 1985; ROSS, 1998). Além disso, os crocodilianos estão diretamente ligados ao ciclo de nutrientes nos ecossistemas aquáticos e terrestres visto que suas excretas são utilizadas como alimento para outros indivíduos como os zooplâncton e peixes (FITTKAU, 1973; SOMAWEERA et al., 2020).

Entretanto, este grupo é ameaçado por muitas atividades humanas. A primeira e mais significativa é a destruição ou a alteração do habitat selvagem (poluição, ocupação humana, desmatamento). No passado, a sobreexploração comercial e a matança indiscriminada acarretaram a diminuição de muitas espécies e reduções na sua distribuição, mas nenhuma espécie tornou-se extinta por causa da exploração humana direta. Porém, a exploração indiscriminada combinada com a perda severa do habitat trouxe diversas espécies ao limiar da extinção (ROSS, 1998; CORREIA, 2011).

A diversidade de 26 espécies na Ordem Crocodylia, agrupadas em três famílias (Crocodylidae, Alligatoridae e Gavialidae) (UETZ et al., 2020). No Brasil são encontrados jacarés distribuídos em três gêneros: Caiman (Spix, 1825), Melanosuchus (Gray, 1862) e Paleosuchus (Gray, 1862), todos pertencentes à família Alligatoridae. A principal forma de diferenciação entre os crocodilos e os jacarés é encontrada nas características da cabeça (mandíbula e crânio). Os jacarés possuem a cabeça mais larga em forma de “U” e quando estão com as mandíbulas fechadas, apenas os dentes superiores ficam visíveis. Já os crocodilos possuem a cabeça mais fina em forma de “V” e quando estão com as mandíbulas fechadas os dentes superiores e inferiores ficam visíveis (NEVAREZ, 2009; IUCN-CSG, 2023).

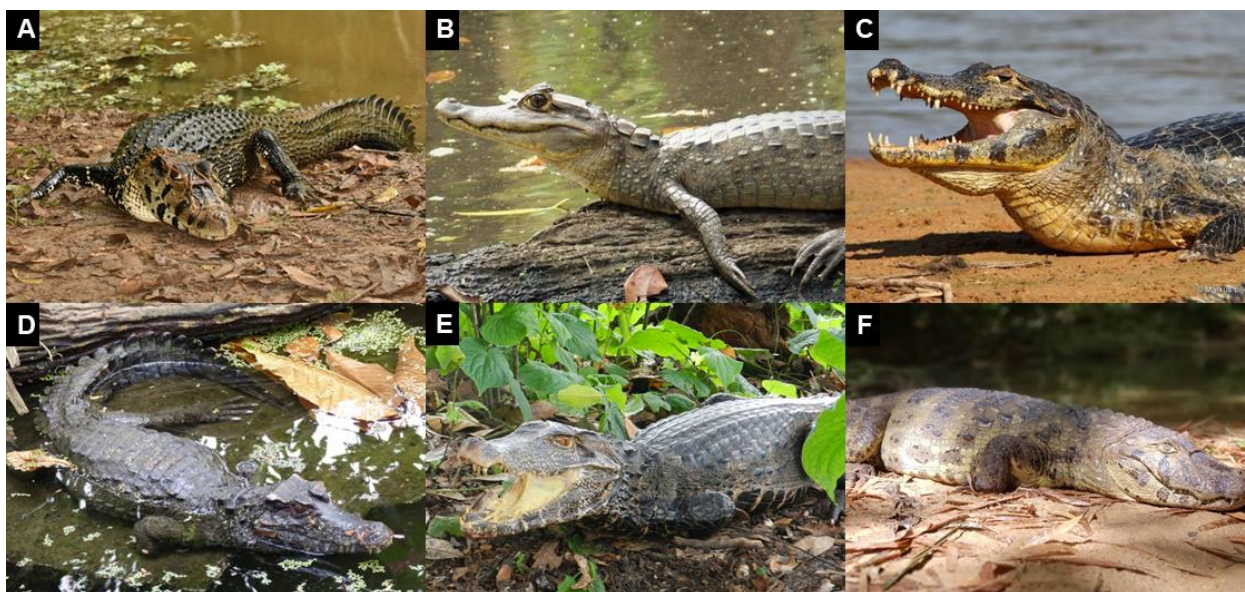
Figura 2. Diferença associada à cabeça (mandíbulas e crânio) entre jacaré (A) e crocodilo (B).



Fonte: IUCN CSG, 2023.

O Brasil é um dos países na Região Neotropical que possui uma das maiores biodiversidades de crocodilianos, ocorrendo seis espécies de jacarés (FIGURA 2), sendo elas: Jacaré-açu (*Melanosuchus niger* (Spix, 1825)), Jacaré-tinga (*Caiman crocodilus* (Linnaeus, 1758)), Jacaré-do-Pantanal (*Caiman yacare* (Daudin, 1802)) Jacaré-coroa (*Paleosuchus trigonatus* (Schneider, 1801)), Jacaré-paguá (*Paleosuchus palpebrosus* (Cuvier, 1807)) e Jacaré-de-papo-amarelo (*Caiman latirostris* (Daudin, 1802)), (COSTA e BÉRNILS, 2018; BARRETO-LIMA et al., 2021).

Figura 3. Espécies de crocodilianos no Brasil. (A) Jacaré-açu (*Melanosuchus niger*); (B) Jacaré-tinga (*Caiman crocodilus*); (C) Jacaré-do-pantanal (*Caiman yacare*); (D) Jacaré-coroa (*Paleosuchus trigonatus*); (E) Jacaré-paguá (*Paleosuchus palpebrosus*); (F) Jacaré-de-papo-amarelo (*Caiman latirostris*).



Fonte: A, B, C e D Biodiversity4all (2023); E e F Acervo Laboratório Interdisciplinar de Anfíbios e Répteis - LIAR.

Todas as espécies citadas possuem uma grande distribuição geográfica, ocorrendo em rios, lagos, córregos e até mesmo em ambientes antropizados (MARIONI et al., 2013; PANTOJA-LIMA et al., 2010; MASCARENHAS-JUNIOR et al., 2018). No estado de Rondônia, localizado no Norte do Brasil é onde se encontra a maior biodiversidade de jacarés, totalizando cinco espécies: *C. crocodilus*, *C. yacare*, *M. niger*, *P. palpebrosus* e *P. trigonatus* (COSTA e BÉRNILS, 2018). O *C. latirostris* é a única espécie não encontrada no Norte do país, porém possui ampla

distribuição nas áreas da Mata Atlântica, Caatinga e Cerrado (COUTINHO et al, 2013).

A maior espécie brasileira é o *Melanosuchus niger* (Jacaré-açu), que pode alcançar 5,0 metros de comprimento total (MEDEM,1983; MARIONI et al, 2013), entretanto a menor espécie encontrada é o *Paleosuchus palpebrosus* (jacaré-anão) que pode alcançar cerca de 2,1 metros de comprimento total (CAMPOS et al., 2013). Independentemente do tamanho, atualmente não existe nenhuma espécie de crocodiliano que ocorre no Brasil ameaçada de extinção, segundo os critérios internacional da União Internacional para a Conservação da Natureza- IUCN (2022) e nacional do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade- ICMBio (2022).

3.3 A ESPÉCIE *Caiman latirostris* (DAUDIN, 1802).

No Brasil, o *Caiman latirostris* (DAUDIN, 1802) é conhecido popularmente como jacaré-de-papo-amarelo, possui como característica marcante o formato da cabeça largo e o focinho mais curto do que as demais espécies (ROBERTO et al., 2019; DE OLIVEIRA LIMA, 2021). Esses animais são crocodilianos de médio porte que podem alcançar até 3,5 m de comprimento total em cativeiro, sendo a maior espécie do gênero (COUTINHO et al., 2013; VERDADE e PIÑA, 2006). Porém, os animais de mais de 3,0 m são, atualmente, difíceis de encontrar na natureza (VERDADE et al., 2010). A coloração do seu corpo é verde apresentando manchas negras na cabeça e na nuca e o ventre amarelado, no dorso, o seu tegumento apresenta osteodermas bastante ossificados (VERDADE e PIÑA, 2007).

O *C. latirostris* apresenta uma ampla distribuição, ocupando grande parte da Argentina, Bolívia, Brasil, Paraguai e Uruguai e cerca de 70% da distribuição global da espécie está no território brasileiro (COUTINHO et al., 2013) (FIGURA 3). Eles ocorrem preferencialmente em ambientes com vegetação e águas lânticas, sendo constantemente encontrados em lagos, açudes, mangues, brejos e nos corpos hídricos onde o ambiente é urbanizado (MOULTON et al., 1999; VERDADE et al., 2010; FILOGÔNIO et al., 2010; COUTINHO et al., 2013). Mesmo não apresentando glândulas de eliminação de sal, os jacarés-de-papo-amarelo podem sobreviver por um determinado período em água salgada (GRIGG et al., 1998). No entanto, esses

animais possuem a capacidade de se reidratar rapidamente, assim que entram em contato com água doce (VERDADE e PIÑA, 2021).

Figura 4. Espécie jacaré-de-papo-amarelo (*Caiman latirostris*) e sua distribuição geográfica.

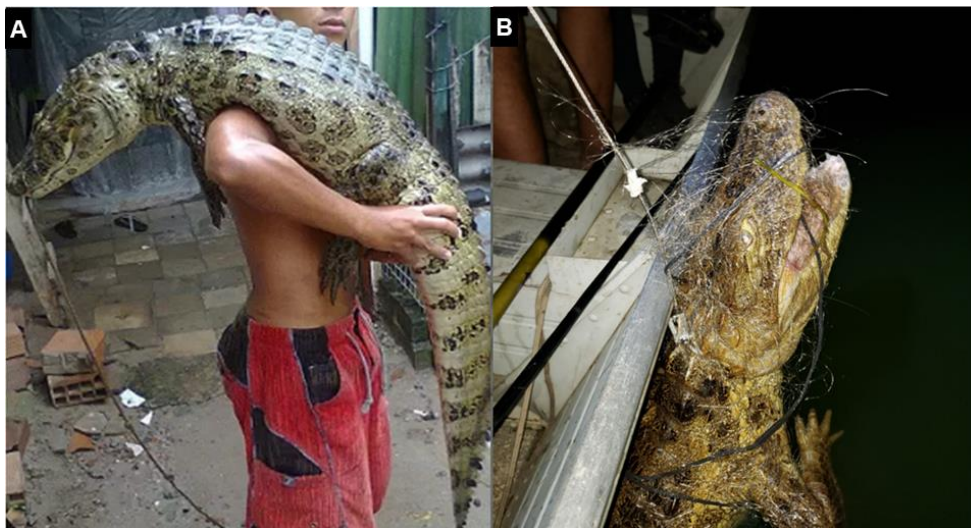


Fonte: (A) Acervo Laboratório Interdisciplinar de Anfíbios e Répteis - LIAR; (B) Coutinho et al., 2013.

O *C. latirostris* apresenta uma dieta diversa ao longo da sua vida, quando jovem se alimenta de invertebrados e quando adulto de vertebrados, se tornando topo da cadeia alimentar do seu habitat (COUTINHO et al., 2013). As fêmeas dessa espécie constroem ninhos no solo em forma de “monte” com diversos tipos de material orgânico com uma distância segura dos corpos hídricos (VERDADE et al., 2010; COUTINHO et al., 2013). Os ovos passam por um período de 65 a 90 dias de incubação dependendo da temperatura, esta que é essencial para determinação do gênero do indivíduo (Piña et al. 2007; COUTINHO et al., 2013). Quando a temperatura alcança 29 °C e 31 °C os indivíduos são fêmeas, quando a temperatura alcança 33 °C os indivíduos são machos. Mesmo ainda dentro do ovo os filhotes já emitem sons (vocalização) para se comunicar com a mãe (ELEUTÉRIO et al., 2021).

Devido à pressão dos seres humanos sobre os habitats originais dessa espécie, esses indivíduos vêm (cada vez mais) colonizando ambientes antrópicos como açudes artificiais, que muitas vezes estão bastante próximos a centros urbanos podendo entrar em contato com a população gerando problemas como, manuseio incorreto e a pesca acidental dessa espécie (VERDADE e LAVORENTI, 1990; ADHIKARI et al., 2020) (FIGURA 4). Além disso, Filogônio et al. (2010), relata que muitos pescadores da bacia do rio São Francisco matam esses animais para o consumo e para evitar que danifiquem suas redes à procura de peixes. Mesmo ilegal, a caça desses animais ainda ocorre principalmente pela população ter medo desses indivíduos, além disso, esses animais são utilizados como fonte de renda (FILOGONIO et al., 2010).

Figura 4. Interações entre população humana e jacaré-de-papo-amarelo (*Caiman latirostris*). Manipulação (A); Animal em óbito por emalhe com pesca (B).



Fonte: (A) G1 Pe, 2016; (B) Acervo Laboratório Interdisciplinar de Anfíbios e Répteis- LIAR.

3.4. CONTAMINAÇÃO POR ELEMENTOS TRAÇOS NA BIOTA AQUÁTICA

O ecossistema aquático normalmente é influenciado por fatores bióticos ou abióticos que podem ser alterados química ou fisicamente (SOININEN e KÖNÖNEN, 2004). A introdução de metais nos sistemas aquáticos pode ocorrer naturalmente através de processos geoquímicos (YABE e OLIVEIRA, 1998), porém a intervenção humana tem sido a maior responsável pela poluição provocada aos ecossistemas (MACEDO e BRAYNER, 2010), causando distúrbios como: destruição de habitats (BAGER, 2012), aumento da poluição dos corpos hídricos e do solo (OTONI, 2011), desmatamento e erosão do solo (ALVES e MENEZES, 2021), mudanças climáticas (WANG et al., 2018), entre outros. Essas atividades têm contribuído com a perda da biodiversidade, desestruturando a dinâmica natural das comunidades biológicas (GOULART e CALLISTO, 2003).

A contaminação por elementos traços em ecossistemas aquáticos é uma das questões ambientais que tem crescido nos últimos anos gerando uma preocupação global sobre a preservação do meio ambiente (WOLFF et al., 2009; DE OLIVEIRA e MARINS, 2011; MARCANTONIO et al., 2018). Segundo Vaz e Furlan (2020), a atual contaminação é advinda dos países desenvolvidos e dos que ainda estão em desenvolvimento, devido ao crescimento populacional, industrial e econômico. O descarte incorreto dos rejeitos originários de atividades antrópicas dá origem a

rejeitos tóxicos, que são depositados e acumulados nos ecossistemas aquáticos, expondo a biota a níveis de toxicidade muitas vezes desconhecidos (VERAS, 2021).

No Brasil, existem diversos registros de contaminação por elementos traços na água (MACHADO et al., 2002; BORRELY et al., 2007; RIBEIRO et al., 2007; MOREIRA, 2013) e em vários organismos aquáticos, como peixes (ARRIFANO et al., 2011; LIMA et al., 2015; ANGHEBEN et al., 2019), crustáceos (SOUZA, 2016; MENEZES, 2018; SANTANA, 2022) e moluscos bivalves (CAVALCANTI, 2003; JESUS, 2011; PAIXÃO et al., 2016) e outros organismos com concentrações que podem ser prejudiciais para as suas populações expostas gerando um problema de saúde pública.

3.5. CROCODILIANOS COMO BIOINDICADORES E BIOMONITORES

Bioindicadores no contexto do monitoramento ambiental é quando a espécie ou organismo traz informações qualitativas sobre a qualidade do ambiente em que se encontra. Já o termo biomonitor se dá quando a espécie ou organismo traz informações quantitativas sobre a qualidade ambiental (MARKERT, et al., 2003; POMPÊO et al., 2022). Os crocodilianos se encaixam nos dois termos podendo trazer informações sobre os metais, tanto qualitativas (identificando a qualidade do ambiente) quanto quantitativas (quantidade de metais no organismo ou em matrizes biológicas) (COUTINHO et al., 2021).

O biomonitoramento tem sido uma técnica bastante utilizada na atualidade para avaliação da saúde e da qualidade dos ecossistemas aquáticos. Os indivíduos utilizados possuem como características, fácil identificação, ampla distribuição e grande abundância além de responder a poluentes ou ao acúmulo de toxinas (DOMINGUES e BERTOLETTI, 2008; MARKERT et al., 2003). Diante disso, pesquisas têm sido realizadas buscando monitorar a saúde dos indivíduos e dos ecossistemas aquáticos utilizando algumas espécies como bioindicadores e biomonitores ambiental, como, peixes (DE SOUZA PEREIRA, 2008), anfíbios (BRODEUR e CANDIOTI, 2017), moluscos (MATOZZO et al., 2010) e crocodilianos (POLETTA et al., 2008; HORAI et al., 2014).

O conhecimento do grau de contaminação por elementos traço na população de crocodilianos é de grande importância, pois os jacarés são parte importante dos ecossistemas tropicais de água doce além de possuírem relevância ambiental e econômica. Os crocodilianos encaixam-se nos critérios dos programas de

monitoramento ambiental, pois possui uma ampla distribuição geográfica, vida longa, tem hábitos sedentários, pode ser identificado em nível taxonômico e capturado, conseguem sobreviver em ambientes antropizados e possuem uma dieta generalista ocupando o topo da cadeia trófica (capturam suas presas dentro e ao longo dos corpos hídricos) se tornando capaz de bioacumular e biomagnificar os elementos traços (POLETTA et al., 2008; COUTINHO et al., 2021; CÓRDOBA-TOVAR et al., 2022).

É denominada bioacumulação o processo de qualquer contaminante se acumular em um organismo. Essa contaminação pode ocorrer de forma direta a partir do solo e da água ou indireta a partir da ingestão de alimentos contaminados (MARTINS et. al, 2022). Já o acúmulo progressivo de contaminantes ao longo da cadeia alimentar é denominado de biomagnificação que está diretamente associado com o nível trófico do animal (HOUDE et al., 2008).

Desde a década de 80 pesquisas mostram o papel importante dos crocodilianos como bioindicadores da qualidade ambiental (LANCE et al., 1983; BURGUER et al., 2000; CORREIA et al., 2014; SCHNEIDER et al., 2015; SANTOS et al., 2021; BUENFIL-ROJAS et al., 2022). Nos estudos são utilizadas diversas amostras biológicas (sangue, tegumento, tecidos, órgãos e anexos) dos animais para avaliar a presença e o teor de elementos químicos variados, tais como: Al, As, Cr, Cd, Cu, Zn, Fe, Pb, Ni, Mn, Hg, entre outros. No tocante as espécies de crocodilianos, as mais utilizadas no biomonitoramento foram: *Alligator mississippiensis* (NILSEN et al., 2017; HORAI et al., 2014), *Crocodylus porosus* (JEFFREE et al., 2001; MANOLIS et al., 2002) e *Crocodylus moreletii* (BUENFIL-ROJAS et al., 2015; THIRION et al., 2022) (TABELA 1).

No Brasil desde o ano de 2008 são realizados estudos utilizando os crocodilianos como biomonitores para a análise do Hg (mercúrio) (FREITAS-FILHO, 2008; VIEIRA et al., 2011; SCHNEIDER et al., 2012; CORREIA et al., 2014; EGGINS et al., 2015; LÁZARO et al., 2015; SCHNEIDER et al., 2015; RIVERA et al., 2016). Esses trabalhos não foram inseridos na tabela 1 porque este metal não foi analisado no presente estudo.

As pesquisas com contaminantes no território brasileiro são realizadas em diversas localidades pertencentes aos biomas Mata Atlântica (*Caiman latirostris*) (SANTOS et al., 2021; CIRILO, 2019), Amazônia (*Melanosuchus niger* e *Caiman*

crocodilus) (SALAZAR-PAMMO et al., 2021; CORREIA et al., 2014) e o Pantanal (*Caiman yacare*) (VIEIRA et al., 2011; QUINTELA et al., 2020).

Tabela 1. Registros na literatura de estudos que utilizam crocodilianos como biondicadores de contaminantes no mundo em ordem cronológica.

Referência	Espécie	Área de estudo	Matriz	Elementos
Delany et al., (1988)	<i>Alligator mississippiensis</i>	Flórida, EUA	Músculo	Cu; Zn; Fe; Cr; Hg; Pb; Cd
Camus et al., (1998)	<i>Alligator mississippiensis</i>	Louisiana, EUA	Fígado, rim, baço, pulmão, coração, estômago, intestino, músculo esquelético, pele, cérebro e osso	Pb
Burger et al., (2000)	<i>Alligator mississippiensis</i>	Florida, EUA	Fígado, músculo, músculo da cauda, ponta da cauda e pele	As; Cd; Cr; Pb; Mn; Hg; Se
Jeffree et al., (2001)	<i>Crocodylus porosus</i>	Parque nacional de Kakadu, Austrália	Osteodermos	Na; K; Ca; Mg; Ba; Sr; Fe; Al; Mn; Zn; Pb; Cu; Ni; Cr; Co; Se; U; Ti
Hammerton et al., (2003)	<i>Crocodylus porosus</i>	Parque de Crocodylus, Austrália	Sangue	Pb
Almlia et al., (2005)	<i>Crocodylus niloticus</i>	Rio Luangwa e Rio Kafue, Africa	Fígado e rins	Cd; Co; Mn; Mo; Pb; As; Hg; Se; Cu; Zn
Xu, et al (2006)	<i>Alligator sinensis</i>	China	Ovos e fezes	As; Fe; Mn; Cu; Pb; Cd; Cr; Zn; Hg
Rainwater et al., (2007)	<i>Crocodylus moreletii</i>	Belize, Lagoa Gold Button e na Bacia do Rio Novo. Costa Rica, Río Grande de Tárcoles	Escama	Cd; Cu; Pb; Hg; Zn; As
Guillory, et al., (2011)	<i>Alligator mississippiensis</i>	Louisiana, EUA	Osso e músculo	Cu; Fe e Zn

Campbell et al., (2010)	<i>Alligator mississippiensis</i>	Charleston, South Carolina, EUA	Fígado	Cd ; Co; Cr ; Ni; Pb ; Hg; As; Se
Trillanes et al., (2014)	<i>Crocodylus moreletii</i>	Campeche, México	Escama	As; Cd ; Cr ; Pb ; Ni e Hg
Horai et al., (2014)	<i>Alligator mississippiensis</i>	Lake Apopka, Lake Woodruff National Wildlife Refuge e Merritt Island National Wildlife Refuge, Flórida, EUA	Fígado	Li; Mg; Al ; V; Cr ; Mn ; Fe ; Co; Ni ; Cu ; Zn ; Ga; As; Se; Rb; Sr; Mo; Ag; Cd ; In; Sn; Sb; Cs ; Ba; Tl; Hg; Pb e Bi
Tellez e Merchant (2015)	<i>Alligator mississippiensis</i>	Louisiana e Flórida, EUA	Pulmão e intestino (parasitas), fígado.	As; Cd ; Cu ; Fe ; Pb ; Se e Zn
Buenfil-Rojas et al., (2015)	<i>Crocodylus moreletii</i>	Rio Hondo, Fronteira México e Belize	Plasma sanguíneo	Cd ; Hg e MTs
Dzul-Caamal et al., (2016)	<i>Crocodylus moreletii</i>	Lago Mocu e Rio Champoton, México	Raspagem focinho, soro e células sanguíneas periféricas	As, Cu , Fe , Mn , Pb , Zn , PAHs e fenóis totais
Nilsen et al., (2016)	<i>Alligator mississippiensis</i>	Norte da Flórida, EUA	Sangue	Hg; Al ; V; Cr ; Mn ; Co; Ni ; Cu ; Zn ; As; Se; Rb; Sr; Mo; Cd ; Sn; Pb
Tuberville et al., (2016)	<i>Alligator mississippiensis</i>	Rockefeller Wildlife Refuge, Louisiana, EUA	Fígado e rim	As; Cd e Se
Warner et al., (2016)	<i>Crocodylus niloticus</i>	Província de KwaZulu-Natal, África do Sul	Sangue	Pb
Nilsen et al., (2017)	<i>Alligator mississippiensis</i>	Flórida, EUA	Sangue e escama	Al ; V; Cr ; Mn ; Co; Ni ; Co; Zn ; As; Se; Rb; Sr; Mo; Cd ; Sn; Cd ; Sn; Pb

Cedillo-Leal et al., (2018)	<i>Crocodylus moreletii</i>	Lagoa El Carpintero/ Tamaulipas, México	Escama e ovos	Cd; Cr; Pb
Du Preez et al., (2018)	<i>Crocodylus niloticus</i>	Parque Nacional Kruger, África do Sul		Hg; Se; Cu; Fe
Cirilo (2019)	<i>Caiman latirostris</i>	Parque Estadual de Dois Irmãos/Pernambuco, Brasil	Pele, escama e sangue	Al; Cd; Cr; Cu; Fe; Mn; Ni; Pb e Zn
Nilsen et al., (2019)	<i>Alligator mississippiensis</i>	Sudeste do Atlântico dos EUA, Carolina do Sul e Flórida	Sangue	Al; Ni; Cu; Zn; As; Se; Mo; Cd; Pb; Hg
Buenfil-Rojas et al., (2020)	<i>Crocodylus moreletii</i>	Quintana Roo e Campeche, México	Plasma sanguíneo, rim, eritrócitos, pele, fígado, unha, escama	Hg; Cd; Cu; e Zn
Quintela et al., (2020)	<i>Caiman yacare</i>	Pantanal, Brasil	Cristas caudais	As; Pb e Cd
Gholamhosseini et al., (2021)	<i>Crocodylus palustris</i>	Província de Sistão e Baluchistão, Irã	Soro sanguíneo e fezes	As; Cd; Fe; Hg; Cu; Cr e Pb
Lemaire et al., (2021)	<i>Caiman crocodilus</i>	Pripis de Yiyi e Kaw-Roura, Guiana Francesa	Sangue	Hg; Se; Pb
Santos et al., (2021)	<i>Caiman latirostris</i>	Reservatório Tapacurá/Pernambuco, Brasil	Sangue	Fe; Cu; Cr; Cd; Pb; Ni; Al
Humphries et al., (2022)	<i>Crocodylus niloticus</i>	Lago Santa Lúcia, África do Sul	Sangue e tecidos adiposos da cauda	Pb
Thirion et al., (2022)	<i>Crocodylus moreletii e Crocodylus acutus</i>	Ambergris Caye, Caye Caulker e Flower Camp, Belize	Escama	Hg; Cd; Co; Cr; Cu; Ni; Pb; Zn e As

3.6. ASPECTOS TOXICOLÓGICOS DOS ELEMENTOS TRAÇOS

Os elementos traços são considerados poluentes, pois não são degradáveis, sendo assim, se acumulam na natureza (BAIRD, 1995). Esses elementos são incorporados no ambiente a partir de diversas fontes, sendo elas naturais (processos geológicos, vulcanismo) ou antrópicas (origem industrial) (ALLEN et al., 2001; SOUZA et al., 2018). Os elementos traços podem ser classificados em dois grupos de acordo com sua funcionalidade: essenciais (como Fe, Mn, Zn) e não essenciais (como Al, Cd, Pb) (TABELA 2).

Os elementos essenciais são aqueles que possuem funções biológicas fundamentais no organismo. Esses elementos são classificados em macroelementos e micronutrientes de acordo com a quantidade necessária para o funcionamento fisiológico normal dos indivíduos (GALVAN, 2018). Os macronutrientes (sódio (Na), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), fósforo (P), enxofre (S), cloro (Cl)) são necessários para nos organismos em maiores quantidades (gramas) (ANDERSON, 2005). Já os micronutrientes (cobre (Cu), níquel (Ni) ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), molibdênio (Mo), cobalto (Co), selênio (Se)) são necessários em menores quantidades (miligramas/microgramas) (ANDERSON, 2005).

Esses elementos estão presentes em uma grande diversidade de alimentos, sendo assim, fazem parte da dieta dos indivíduos que precisam ser balanceada, pois, mesmo considerados essenciais para os organismos vivos, em altas concentrações no ambiente podem se tornar poluentes perigosos afetando negativamente todo o ecossistema (NORDBERG et al., 2007; PORTO e ETHUR 2009).

Contudo, os elementos não essenciais não possuem funções fundamentais conhecidas para o funcionamento dos organismos podendo levar a intoxicação rapidamente (GALL et al., 2015). Essa classe é composta pelo alumínio (Al), chumbo (Pb), mercúrio (Hg), cádmio (Cd) e arsênio (As) (SALGADO, 1996; GALVAN, 2018). De modo geral, as principais fontes antrópicas que contribuem para o aparecimento destes elementos no ecossistema aquático são as atividades industriais, as atividades de mineração, os efluentes domésticos e as atividades (RAMALHO e SOBRINHOS et al., 2000; ALMEIDA, 2012). A via digestiva é a principal forma de entrada desses elementos nos indivíduos que em altas concentrações provocam efeitos tóxicos, com reflexo nos sistemas reprodutivo, endócrino, neurológico e enzimático (SILVA et al., 2007).

Os elementos traços mais evidenciados na literatura no tocante a essa classificação, são os seguintes:

3.6.1. Alumínio (Al)

O Alumínio é um elemento inorgânico classificado como metálico e está localizado na décima terceira posição na tabela periódica e ocupa cerca de 8,3% de toda crosta terrestre, sendo o metal mais abundante (BECARIA, 2006) e o segundo elemento encontrado em maiores quantidades na litosfera (ALFREY, 1983).

O alumínio é considerado um metal não essencial (NAYAK, 2002) e em níveis elevados demonstrou ser tóxico tanto para plantas, inibindo o crescimento e desenvolvimento das raízes (MIGUEL et al., 2010) quanto para os animais, onde estudos realizados com peixes mostraram que o Al pode causar asfixia nesses indivíduos (SPARLING et al., 1997). Além disso, a toxicidade do Al tem sido associada à doença de Alzheimer nos seres humanos (SAVORY et al., 2006).

Na natureza este elemento não é encontrado na sua forma pura, sendo assim ele está combinado a outros elementos, como o flúor, o oxigênio e o silício (ATSDR, 2008a). O Al é amplamente utilizado na indústria geralmente na fabricação de latas, embalagens, utensílios de cozinha, fios e cabos (ATSDR, 2008a; CARDOSO et al., 2011).

3.6.2. Cádmio (Cd)

O Cádmio é um metal de transição que pertence ao grupo 12 da tabela periódica e não possui função nos seres vivos sendo assim, é considerado um elemento não essencial. Esse elemento é cancerígeno tanto para os seres humanos quanto para os animais e a principal fonte de exposição é devido à fabricação e o descarte de compostos contendo este metal (MARTELLI et al., 2006; WAALKES, 2003).

A contaminação por este metal pode acarretar nos seres humanos distúrbios renais, deformidades ósseas, doenças cerebrovasculares além de cânceres (IGANSI, 2012). Em peixes Zebrafish, a exposição do Cd pode afetar o crescimento, causar mudanças histológicas no fígado além de causar danos olfativos (YUAN et al., 2017; ZHU et al., 2018; HEFFERN et al., 2018). Já nas plantas, o Cd pode gerar a clorose (falta de produção de clorofila) nas folhas (JIANG et al., 2005; KÜPPER et al., 2007).

Naturalmente este elemento é encontrado no solo e nas emissões de gases de atividade vulcânica e na erosão de rochas (GUIMARÃES et al., 2008; CETESB, 2014). O Cd é utilizado na indústria para a fabricação de esmaltes, ligas metálicas, fungicidas, indústria de fabricação de plástico, fertilizantes e queima de combustíveis fósseis (GUIMARÃES et al., 2008; FRANCHI et al., 2011).

3.6.3 Chumbo (Pb)

O Chumbo (Pb) é considerado um dos elementos não essenciais mais tóxicos devido à facilidade de se acumular no organismo tornando-se reconhecido pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como um dos elementos químicos mais perigosos à saúde humana (VANZ et al., 2003). Este elemento pertence ao grupo quatorze da tabela periódica e na crosta terrestre sua disponibilidade é relativamente abundante (MUNHOZ, 2010; PANTALEÃO e CHASIN, 2014).

A exposição ao Pb pode gerar diferentes efeitos tóxicos em diversos organismos (GAGNETEN et al., 2012). Segundo Sorensen (1991) os peixes podem apresentar alteração no comportamento (redução na velocidade de migração) e nos tecidos musculares (perda de equilíbrio e paralisia). Logo, nos seres humanos esse elemento afeta tanto os homens (morte/diminuição no número de espermatozoides (WU et al., 2012)) quanto as mulheres (aborto espontâneo (BELLINGER, 2005)). Diante do exposto, uma intoxicação por este metal pode gerar graves riscos levando o indivíduo à morte (GILANI et al., 2015).

Esse elemento não pode ser encontrado na natureza em sua forma pura, ele apresenta-se combinado com outros elementos formando diferentes minerais, sendo o principal a galena, sulfeto de chumbo (PbS). Naturalmente encontra-se o Pb no ambiente a partir do processo de lixiviação do solo, e erupções vulcânicas (LARINI et al., 1982; CORTECCI et al., 2002). As contribuições antrópicas são as atividades de mineração, pesticidas, produção de baterias automotivas, blindagem de radiação (raios-X), pigmentos e tintas para impressão (VIOLANTE et al., 2010; PRADA e DE OLIVEIRA, 2010; SINGH e KALAMDHAD, 2011; GALL et al., 2015).

3.6.4. Cromo (Cr)

O cromo é um elemento bastante comum, se tornando o sétimo elemento mais abundante na crosta terrestre, além disso, é considerado um elemento

essencial para regulação do metabolismo de carboidratos, proteínas e lipídios (CEFALU e HU, 2004; MIRANDA FILHO et al., 2011).

Em altas concentrações deste elemento, assim como outros, pode ser prejudicial para os organismos vivos (KAMRAN et al., 2021). Nas plantas, ele pode reduzir o crescimento, alterar as atividades enzimáticas e causar desequilíbrio hídrico da folha (SINGH et al., 2013; NAZ et al., 2021). Nos animais e nos seres humanos o Cr pode causar morte celular dos tecidos, afetando negativamente o fígado e os rins (WU et al., 2020; YE et al., 2021).

Esse elemento ocorre naturalmente na forma de cloreto de cromo, óxido de cromo (cromita) e em alimentos como brócolis e cereais (REZENDE et al., 2010; MURTHY et al., 2011). O cromo é utilizado nas atividades industriais para a produção de ligas e aço inoxidável, além do mais, este elemento é empregado na fabricação do curtimento de couro, celulose e papel (MURTHY et al., 2011; LUKINA et al., 2016; SHAIBUR, 2022).

3.6.5. Cobre (Cu)

O cobre é um metal de transição que se encontra dentro do grupo dos elementos essenciais e existe em pequenas quantidades nos seres humanos, animais e plantas (DÍAZ et al., 2015). Esse elemento exerce papel fundamental nos processos bioquímicos da respiração celular, da metabolização do ferro (enzimas cobre dependentes), da produção da melanina e da síntese de hemoglobina (ROSA e GOMES, 1982; RADOSTITS et al., 2007; MOZAFFARI et al., 2009; COLLINS et al., 2010).

Nos seres humanos a intoxicação pelo Cu pode causar hemorragia gastrointestinal, necrose hepática, taquicardia e alterações no sistema nervoso central (SARGENTELLI et al., 1996; NATIONAL RESEARCH COUNCIL et al., 2000; LEBRE et al., 2005). Segundo Gurganari et al. (2022) o Cu em concentrações elevadas afeta o crescimento, a reprodução e o comportamento dos peixes. Nas plantas elevadas concentrações podem causar necrose, atrofia e inibição do crescimento das raízes (VAN ASSCHE e CLIJSTERS 1990; MARSCHNER, 1995).

A disponibilidade natural do Cu ocorre na forma de sais de sulfato, carbonato e nitrato (FERREIRA et al., 2008). Além de ser encontrados em alimentos como farelo de trigo, legumes, nozes e cereais (SARGENTELLI et al., 1996; COSTA, 2011).

Esse elemento é empregado na produção de fios elétricos, canos e emissões de combustão (VEIT, 2005; LATIF et al., 2022).

3.6.6. Ferro (Fe)

O ferro é bastante abundante na natureza, ele é considerado um elemento de transição essencial para a homeostase celular, sendo considerado um dos elementos mais importantes para o indivíduo (JUCOSKI, 2011; MARSCHNER et al., 2011). Além disso, o Fe está diretamente ligado com metabolismo energético, o transporte de oxigênio e para síntese de DNA (BIRUNGI et al., 2007; GROTO, 2008; SOUZA FILHO e CALUZI 2009).

A deficiência desse elemento no organismo pode acarretar anemia e redução na integridade do tecido cerebral (MUDD et al., 2018) já o acúmulo ou excesso pode ser nocivo para os tecidos, pois, o ferro livre pode lisar proteínas, lipídeos e DNA (GROTO, 2008). Nas plantas o Fe é necessário para o crescimento e para a realização da fotossíntese, porém em excesso, pode levar a redução do crescimento e ao estresse oxidativo (BRIAT e LOBRÉAUX, 1997; JUCOSKI, 2011).

A fonte natural do Fe advém do desgaste das rochas, meteoritos e alimentos como carnes, ovo e feijão (SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989; KROSCWITZ, 1995). Enquanto as fontes antrópicas ocorrem a partir do processo de mineração, soldagem, fertilizantes, aerossóis, fabricação de pregos e aço (DESAEDELEER et al., 1976; SCHARMA et al. 2000; SOUZA et al., 2018).

3.6.7. Manganês (Mn)

O manganês é o décimo segundo metal mais abundante da crosta terrestre pertencente ao grupo sete da tabela periódica e inserido na classe dos metais de transição, além de ser considerado um elemento essencial para os seres humanos, os animais e os vegetais (UNDERWOOD et al., 1993; DA ROCHA e AFONSO, 2012).

Este elemento desempenha função na atividade neural, auxiliando no desenvolvimento e funcionamento do cérebro (PROHASKA, 1987). A deficiência de manganês na dieta pode afetar a homeostase no cérebro causando convulsões (HURLEY et al., 1963). Porém, é necessário um equilíbrio, pois esse elemento em altas concentrações se torna tóxico para o cérebro (TAKEDA, 2003). Além disso, ele desempenha um papel nutricional no metabolismo de gorduras e carboidratos e no

crescimento ósseo (BOWMAN et al., 2011). Nos peixes, altas concentrações de Mn podem causar alterações nas funções motoras e neurais (BAKTHAVATSALAM et al., 2014; MARINS et al., 2019).

O Mn possui sua fonte natural encontrada em diversos ambientes geológicos e dispersa em uma grande quantidade de rochas geralmente em forma de óxidos (SAMPAIO et al., 2008; CORATHERS, 2010). Sua fonte antrópica deriva de baterias, pilhas, pigmentos na indústria da cerâmica, desinfetantes, fertilizantes e fungicidas (SAMPAIO et al., 2008; AFONSO, 2020; DIAS e CALIXTO, 2018).

3.6.8 Níquel (Ni)

O Níquel (Ni) é um elemento essencial e o 24º metal em abundância na crosta terrestre. A exposição a esse metal pode ocorrer a partir de uma variedade de fontes como, por exemplo, as operações metalúrgicas (GONZALEZ, 2016).

Os efeitos observados na saúde dos seres humanos expostos ao níquel ocorrem no sistema respiratório podendo aumentar o risco de câncer respiratório, além disso, pode gerar dermatite alérgica de contato (GONZALEZ, 2016; SEILKOP & OLLER, 2003; KORNIK & ZUG, 2008). Em camundongos, o Ni é capaz de deteriorar os espermatozoides e reduzir sua mobilidade (YOKOI et al., 2003). Segundo Taylor et al. (2016) a exposição ao Ni pode causar diminuição nas ninhadas de crustáceos (*Daphnia pulex-pulicaria*). Em rãs do gênero *Xenopus* esse metal pode acarretar lesões oculares (HAUPTMAN et al., 1993).

Esse elemento ocorre naturalmente na forma de sulfeto de níquel (VILAPLANA et al., 1991). Também está presente no ar e em alimentos como o amendoim, a soja e o cacau (GONZALEZ, 2016). As atividades antrópicas relacionadas a este metal envolvem a sua grande capacidade de resistir à ferrugem, sendo assim, ele é utilizado amplamente como protetores de peças metálicas, aplicado na fabricação de aço inoxidável, moedas, pigmentos, baterias e instrumentos dentários (DA SILVA et al., 2019; MARTIN et al., 2019; ORTH et al., 2022).

3.6.9. Zinco (Zn)

O Zinco é um metal de transição pertencente ao grupo dos elementos essenciais por desempenhar funções indispensáveis para todos os seres vivos (CHENEY 1993, LI et al. 2002). Esse elemento encontra-se envolvido em diversos

processos como no metabolismo de proteínas, carboidratos, lipídeos e ácidos nucléicos, no sistema imunológico, na proteção celular, na estabilização das membranas estruturais, no desenvolvimento ósseo e na reprodução (MAFRA e COZZOLINO, 2004; CRUZ e SOARES, 2011).

Esse elemento torna-se prejudicial para os organismos quando em excesso. De modo geral, nos seres humanos a toxicidade afeta a resposta imune, a reprodução e o crescimento do indivíduo (JEN e YAN, 2010; CHANG et al., 2004). Além disso, as altas concentrações de Zn no organismo podem causar diarreia, vômito, febre e problemas pulmonares (ROCHA et al., 1985). Nas plantas ocorre a redução do crescimento e clorose nas folhas (SOARES et al., 2001; YANG et al., 2011). Em peixes (*Astyanax bimaculatus*), notaram-se alterações histopatológicas (hiperplasia, aneurisma e ruptura de membrana), dilatação vascular e diminuição celular (SANTOS, 2009).

O Zn pode ser encontrado na natureza combinado ao enxofre e oxigênio na forma de sulfeto e óxido (MEDEIROS, 2012; SOUZA et al., 2018). A entrada no substrato é através do intemperismo físico ou químico de rochas (SANTOS, 2005). Além disso, pode ser encontrado em alimentos como ovos, leite, queijos, cereais de grãos integrais, feijões, amêndoas e castanhas (CRUZ e SOARES, 2011). As fontes antrópicas desse elemento se dão a partir da fabricação de joias e bijuterias, cosméticos, fármacos, borras, cadeados, plásticos e tintas, sendo muito utilizado em materiais galvanizados e na formação de ligas metálicas (FURQUIM, 2017; WEN et al., 2023).

Tabela 2. Elementos traços categorizados quanto a sua essencialidade, fonte natural e fonte antrópica.

ELEMENTOS	ESSENCIALIDADE	FONTE NATURAL	FONTE ANTRÓPICA
Alumínio (Al)	Não essencial	Minério (bauxita).	Embalagens, latas, utensílios de cozinha.
Cádmio (Cd)	Não essencial	Atividade vulcânica e erosão de rocha.	Esmaltes, ligas metálicas, fungicidas, fabricação de plástico, fertilizantes.
Chumbo (Pb)	Não essencial	Lixiviação do solo, e erupções vulcânicas.	Pesticidas, baterias automotivas, blindagem de radiação, pigmentos e tintas.

Cromo (Co)	Essencial	Rochas, névoas vulcânicas.	Fabricação de aço inoxidável, fabricação de couro, celulose e papel.
Cobre (Cu)	Essencial	Sais de sulfato, carbonato, farelo de trigo, legumes, nozes e cereais.	Fios elétricos, canos e emissões de combustão.
Ferro (Fe)	Essencial	Desgastes das rochas, alimentos.	Fabricação de aço, pregos, aerossóis, fertilizantes.
Manganês (Mn)	Essencial	Rochas	Baterias, pilhas, pigmentos, fertilizantes, cerâmicas.
Níquel (Ni)	Essencial	Sulfetos de níquel e alimentos.	Moedas, baterias e bijuterias.
Zinco (Zn)	Essencial	Intemperismo físico ou químico de rochas.	Cosméticos, fármacos, cadeados, plásticos e tintas.

3.7. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA SOBRE CONTAMINANTES EM ALIMENTOS

Diversos países adotam limites máximos de concentração de substâncias químicas em espécies animais e/ou vegetais consumidas pela população humana, e a acumulação destas substâncias pode, em algumas situações, restringir ou mesmo impedir a comercialização de espécies importantes.

No Brasil existem limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos com o intuito de proteger a saúde humana (ANVISA, 2022). A Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA é uma autoridade federal responsável pela definição dos limites e pela regulamentação de contaminantes em alimentos. A Instrução Normativa - IN N° 88, DE 26 DE MARÇO DE 2021 tem como intuito controlar a qualidade dos alimentos (ANVISA, 2022; MÉRIEUX NUTRISCIENCES, 2021). Além disso, organizações mundiais também estabelecem contrações de elementos limites para os alimentos, como a Organização Mundial de Saúde (WHO) e a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO).

Os produtos derivados do *C. latirostris* (carne e couro) possuem um grande valor econômico (BRAZAITIS, 1989). Apesar de existirem criadouros licenciados pelo IBAMA no Brasil o consumo ilegal da carne de jacarés pelos seres humanos tem crescido nos últimos anos (COUTINHO et al., 2013; DE OLIVEIRA LIMA et al., 2021). Essa realidade gera a necessidade de estimar as concentrações desses metais em ambientes potencialmente contaminados para que assim seja possível

alertar a população humana dos riscos que esses contaminantes podem causar (BOSCO-SANTOS e LUIZ-SILVA, 2012) (TABELA 3).

Tabela 3. Limites máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos segundo as legislações nacionais e internacionais para alumínio (Al), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn).

Elemento	Concentração Máxima Permitida (mg L ⁻¹)	
	Brasil - Instrução normativa N ^a 88 de 2021	WHO/FAO (2000; 2003)
Al	-	1,000 ^b
Cd	0,050 ^a	0,050 ^b
Cr	-	0,030 ^b
Cu	-	3,500 a 245,000 ^c
Fe	-	0,180 ^b
Mn	-	0,980 a 68,600 ^c
Ni	-	0,055 ^b
Pb	0,300 ^a	0,200 ^b
Zn	-	3,500 a 245,000 ^c

^a Considerando a categoria para peixes crus, congelados ou refrigerados.

^b /peso corporal considerando a categoria pescado da WHO/FAO.

^c pessoa/semana considerando a categoria pescado da WHO/FAO.

"-" limites não informados no documento.

Fonte: Adaptado da WHO/FAO (2000; 2003); Instrução Normativa (2021); Santos et al., (2021).

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADHIKARI. S.P. et al. Epidemiology, causes, clinical manifestation and diagnosis, prevention and control of coronavirus disease (COVID-19) during the early outbreak period: a scoping review. *Infectious Diseases of Poverty*, v. 29, p. 1-12, 2020.

AFONSO, Júlio Carlos. Manganês no brasil: descoberta, recebida, consumida e recebida numa perspectiva histórica. *Química Nova*, v. 42, p. 1172-1183, 2020.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). Toxicological Profile for Aluminum. Atlanta, 2008a. Disponível em: . Acesso em: 15 abril 2023.

ALFREY, Allen C. Aluminum. *Advances in clinical chemistry*, v. 23, p. 69-91, 1983.

ALLEN, VG et al. Tasco: Influência de uma alga marrom em antioxidantes em forragens e gado - uma revisão. *Journal of Animal Science*, v. 79, n. suppl_E, pág. E21-E31, 2001.

ALMEIDA, Débora da Silva. Determinação de metais nas águas superficiais da bacia do Rio São João. 2012.

ALVES, Maria Danise O.; MENEZES, Larissa S. Impactos ambientais no baixo curso do rio Pajeú, no trecho urbano de Floresta, Pernambuco. *Cerrados*, v. 19, n. 1, p. 56-83, 2021.

ANGHEBEN, Fernanda Marcon et al. CONCENTRAÇÃO DE METAIS EM PEIXES DE DIFERENTES NÍVEIS TRÓFICOS, OCORRENTES NO RIO DAS ANTAS, RS-BRASIL. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 8, n. 4, p. 152-164, 2019.

ANVISA- Agência Nacional de Vigilância Sanitária. INSTRUÇÃO NORMATIVA-2021. Disponível em: http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/IN_160_2022_.pdf Acessado em: 07 de setembro de 2022.

APAC- Agência Pernambucana de Recursos Hídricos. Boletins Hídricos. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/rios-e-reservatorios>. Acessado em: 01 de outubro de 2022 e 22 de janeiro de 2023.

ARRIFANO, Gabriela de Paula Fonseca et al. Metilmercúrio e mercúrio inorgânico em peixes comercializados nos mercado municipal de Itaituba (Tapajós) e mercado do Ver-o-peso (Belém). 2011.

BAGER, Alex (Ed.). Ecologia de Estradas: tendências e pesquisas. Editora UFLA, 2012.

BAIRD, C. 1995 Environmental Chemistry. New York: W. H. Freeman and Company. 484 p.

BAKTHAVATSALAM, Subha et al. A zebrafish model of manganese reveals reversible and treatable symptoms that are independent of neurotoxicity. Disease models & mechanisms, v. 7, n. 11, p. 1239-1251, 2014.

BARRETO-LIMA, A. F.; SANTOS, M. R. de D.; NÓBREGA, Y. C. Tratado de Crocodilianos do Brasil. Vitória: Editora Instituto Marcos Daniel, 2021. p. 61 e seg.

BARROS, Alessandra Maciel de Lima. Modelagem da poluição pontual e difusa: aplicação do modelo MONERIS à bacia hidrográfica do rio Ipojuca, Pernambuco. 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco

BECARIA A., Lahiri D., Bondy S., Chen D., Hamadeh A., Li H., Taylor R., Cambell A. 2006. Aluminum and copper in drinking water enhance inflammatory or oxidative events specifically in the brain. Journal of Neuroimmunology, 176: 16 –23.

BELLINGER, David C. Teratogen update: lead and pregnancy. Birth Defects Research Part A: Clinical and Molecular Teratology, v. 73, n. 6, p. 409-420, 2005.

BIODIVERSITY4ALL, 2023. Crocodilos, Jacarés e Gaviais. Disponível em: <https://www.biodiversity4all.org/taxa/121038-Alligatoridae>. Acesso em: 18 de março de 2023.

BIRUNGI, Z. et al. Active biomonitoring of trace heavy metals using fish (*Oreochromis niloticus*) as bioindicator species. The case of Nakivubo wetland along Lake Victoria. Phys Chem Earth, v. 32, p. 1350-1358, 2007.

BORGES, Roberto Cabral et al. Diagnóstico da fauna silvestre apreendida e recolhida pela Polícia Militar de Meio Ambiente de Juiz de Fora, MG (1998 e 1999). *Revista Brasileira de Zoociências*, v. 8, n. 1, 2006.

BORRELY, Sueli Ivone et al. Contaminação das águas por resíduos de medicamentos: ênfase ao cloridrato de fluoxetina. *O mundo da saúde*, v. 36, n. 4, p. 556-563, 2012

BOSCO-SANTOS, Alice; LUIZ-SILVA, Wanilson. CAPÍTULO 8 CHUMBO EM PEIXES DE AMBIENTES COSTEIROS IMPACTADOS: O CASO DE CUBATÃO (SP), 2012.

BOWMAN, Aaron B.; ASCHNER, Michael. Considerations on manganese (Mn) treatments for in vitro studies. *Neurotoxicology*, v. 41, p. 141-142, 2014.

BRASIL. Secretaria do Meio Ambiente. Fauna urbana Governo do Estado de São Paulo. Educação Ambiental, 2013.

BRASIL. Sistema de informações geoambientais da Região Metropolitana do Recife. Programa de Gestão Territorial. Recife: CPRM, 2003.

BRAZAITIS, P. The forensic identification of crocodilian hides and products. In: IUCN PUBLICATION NEW SERIES. Crocodiles: their ecology, management, and conservation. Gland: IUCN, 1989. p. 17-43.

BRIAT, J.F.; LOBRÉAUX, S. Iron transport and storage in plants. *Trends in Plant Science*, 2: 187-193, 1997

BRODEUR, J. C.; CANDIOTI, J. Vera. Impacts of agriculture and pesticides on amphibian terrestrial life stages: Potential biomonitor/bioindicator species for the Pampa region of Argentina. In: *Ecotoxicology and Genotoxicology*. 2017. p. 163-194.

BRUN, Flávia Gizele König; LINK, Dionísio; BRUN, Eleandro José. O emprego da arborização na manutenção da biodiversidade de fauna em áreas urbanas. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, v. 2, n. 1, p. 117-127, 2007

BUENFIL-ROJAS, AM; ÁLVAREZ-LEGORRETA, T.; CEDEÑO-VÁZQUEZ, JR Metais e metalotioneínas no crocodilo de Morelet (*Crocodylus moreletii*) de um rio

transfronteiriço entre México e Belize. Arquivos de contaminação ambiental e toxicologia, v. 68, n. 2, pág. 265-273, 2015.

BUENFIL-ROJAS, Asela Marisol et al. Effectiveness of Morelet's crocodile as a bioindicator of metal pollution and metallothionein response to spatial variations of metal exposure. Environmental Advances, v. 8, p. 100251, 2022.

BURGER, J. et al. Metals and metalloids in tissues of American alligators in three Florida lakes. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, v. 38, p. 501-508, 2000.

CAMPBELL, J. W. et al. Heavy metal and selenium concentrations in liver tissue from wild american alligator (*Alligator Mississippiensis*) livers near Charleston, South Carolina. Journal of Wildlife Diseases, 46, 4, p.1234–1241, 2010.

CAMPOS, Z. Observações sobre a biologia reprodutiva de três espécies de jacarés na Amazônia Central. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Pantanal Corumbá, v. 43, p. 1-16, 2003.

CAMPOS, Z.; SANAIOTTI, T.; MUNIZ, F.; FARIAS, I.; MAGNUSSON, W. E.; Parental care in the Dwarf caiman, *Paleosuchus palpebrosus* Cuvier, 1807 (Reptilia: Crocodilia: Alligatoridae). Journal of Natural History, v. 46, n. 47-48, p. 2979-2984, 2012a.

CAMPOS, Zilca et al. Avaliação do risco de extinção do jacaré-paguá *Paleosuchus palpebrosus* (Cuvier, 1807) no Brasil. 2013.

CAMPOS, Zilca; COUTINHO, Marcos; MAGNUSSON, William E. Temperatura corporal de campo de jacarés no Pantanal, Brasil. The Herpetological Journal , v. 15, n. 2, pág. 97-106, 2005.

CAMPOS, Zilca; MAGNUSSON, William E.; MUNIZ, Fábio. Schneider's Smooth-fronted Caiman *Paleosuchus trigonatus*. 2019.

CARDOSO, José Guilherme da Rocha et al. A indústria do alumínio: estrutura e tendências. 2011.

CAVALCANTI, André Dias. Monitoramento da contaminação por elementos traço em ostras comercializadas em Recife, Pernambuco, Brasil. Cadernos de Saúde Pública, v. 19, p. 1545-1551, 2003.

CEFALU W.T. and HU F.B. 2004. Role of chromium in human health and in diabetes. Diabetes Care. 27: 2741–2751

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Cádmio e seus compostos. Ficha de Informação Toxicológica. Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental, 2014.

CHANEY RL (1993). Zinc phytotoxicity. In, Robson AD. Zinc in soils and plants. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 135-150.

CHANG, Christopher J. et al. A tautomeric zinc sensor for ratiometric fluorescence imaging: Application to nitric oxide-induced release of intracellular zinc. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 101, n. 5, p. 1129-1134, 2004.

CIRILO K L. Contaminantes em população de vida livre de Caiman latirostris (Daudin, 1802) no Parque Estadual Dois Irmãos, Pernambuco. 2019. 44 f. Monografia (- Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

COLLINS, James F.; PROHASKA, Joseph R.; KNUTSON, Mitchell D. Metabolic crossroads of iron and copper. Nutrition reviews, v. 68, n. 3, p. 133-147, 2010.

CORATHERS, Lisa A. Manganese (Mn). Metal Prices in the United States Through 2010, p. 93.

CÓRDOBA-TOVAR, Leonomir et al. Drivers of biomagnification of Hg, As and Se in aquatic food webs: A review. Environmental Research, v. 204, p. 112226, 2022.

CORREIA, Jozélia et al. Mercury contamination in alligators (Melanosuchus niger) from Mamirauá Reservoir (Brazilian Amazon) and human health risk assessment. Environmental Science and Pollution Research, v. 21, p. 13522-13527, 2014.

CORREIA, Jozélia. Teores de mercúrio total em jacaré-açú (Melanosuchus niger spix, 1825) capturados para consumo humano, na reserva de desenvolvimento sustentável Mamirauá/AM, brasil. 2011.

CORTECCI, Gianni et al. Geologia e Saúde. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/media/geosaude.pdf>>. Acesso em: 10/01/2023.

COSTA, Aristóteles Gomes; BORGES, Álan Maia; SOTO-BLANCO, Benito. Metais tóxicos e seus efeitos sobre a reprodução dos animais. Revisão de Literatura. Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal: RBHSA, v. 14, n. 1, p. 108-124, 2020.

COSTA, H. C.; BÉRNILS, R. S. Répteis do Brasil e suas Unidades Federativas: Lista de espécies. Herpetologia Brasileira, v. 7, p. 11-57, 2018.

COSTA, Thays Nascimento. INTOXICAÇÃO POR COBRE ASPECTOS CLÍNICOS E LABORATORIAIS 2011.

COUTINHO, M. E., Marioni, B., Farias, I. P., P. , Verdade, L.M. Bassetti, L., de Mendonça, S. H., & Campos, Z. Avaliação do risco de extinção do jacaré-de-papo-amarelo *Caiman latirostris* (Daudin, 1802) no Brasil, 2013.

COUTINHO, M. E.; SANTOS, M. R. D.; BARRETO-LIMA, A. F.; NÓBREGA, Y. C. Conservação de Crocodilianos no Brasil: perspectivas e possibilidades. In: BARRETO-LIMA, A. F.; SANTOS, M. R. de D.; NÓBREGA, Y. C. (Ed.). Tratado de Crocodilianos do Brasil. 1a. ed. Vitória: Editora Instituto Marcos Daniel, 2021. Cap. 24, p. 622-641.

COUTINHO, M. E.; FARIAS, I. P.; MARIONI, B.; VERDADE, L. M.; BASSETTI, L.; MENDONÇA, S. H. S. T.; VIEIRA, T. Q.; MAGNUSSON, W. E.; CAMPOS, Z. Avaliação do risco de extinção do jacaré-do-papo-amarelo *Caiman latirostris* (Daudin, 1802) no Brasil. Biodiversidade Brasileira, v. 3, n. 1, p. 13-20, 2013.

CRUZ, Josilaine B. Fernandes; SOARES, Henrique Freire. Uma revisão sobre o zinco. Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde, v. 15, n. 1, p. 207-222, 2011.

CURITIBA, 2012. Rede de Proteção Animal – Cidade de Curitiba. Disponível em: . Acesso em: 13 de agosto de 2022.

DA ROCHA, Renan Azevedo; AFONSO, Júlio Carlos. Manganês. Química Nov Na Esc., v. 34, p. 103-105, 2012.

DA SILVA, BEATRIZ GOMES VELOSO et al. Efeitos biológicos adversos causados pelo níquel no organismo: Uma revisão narrativa. Anais da Jornada Odontológica de Anápolis-JOA, 2019.

DA SILVA, Thassiane Targino et al. Predominant bacterial microbiota of the mouth and cloaca from captive Caiman latirostris (Daudin, 1802). Herpetology Notes, v. 13, p. 451-455, 2020.

DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL, Cadernos. FAUNA URBANA, 2013.

DE LIMA, Christina Venzke Simões; MEURER, Egon José. Elementos-traço no solo, nas águas e nas plantas de uma lavoura de arroz irrigado do Rio Grande do Sul. Revista de estudos ambientais, v. 15, n. 1, p. 20-30, 2014.

DE OLIVEIRA LIMA, Mariana et al. Jacarés do Brasil: biologia, manejo e conservação de Caiman latirostris. TÓPICOS ESPECIAIS EM CIÊNCIA ANIMAL X, p. 46, 2021

DE SOUZA PEREIRA, Wagner; KELECOM, Alphonse; JÚNIOR, Delcy de Azevedo Py. Utilização de peixes como biomonitor para fins de radioproteção ambiental em ecossistemas aquáticos continentais. Um modelo conceitual. Oecologia Brasiliensis, v. 12, n. 3, p. 13, 2008.

DESAEDELEER, G.; MAHIEU, Bernard; LADRIERE, Jean. Determination of the chemical composition of iron aerosols. A means of tracing the source of iron in the atmosphere. In: Measurement, detection and control of environmental pollutants. 1976.

Deslandes, S.F., Minayo, M.C.S., Lima, M.L.C. (2008): Atendimento de emergência às vítimas de acidentes e violência no Brasil. Revista Panamericana de Salud Pública. 24: 430- 440.

DIAS, Tatiana Gonçalves; CALIXTO, F. Manganês. CODEMGE–Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais. Disponível em: <http://recursomineralmg.gov.br/>

codemge. com. br/substanciasminerais/manganes/. Acesso em, v. 12, n. 11, p. 2021, 2018.

DÍAZ, Tatiana García et al. Metabolismo do cobre na nutrição animal: revisão. PubVet, v. 9, p. 252-286, 2015.

DOMINGUES, F. D.; BERTOLETTI, E. Seleção, manutenção e cultivo de organismos aquáticos. In: ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E. (Ed.) Ecotoxicologia aquática – princípios e aplicações. São Carlos: Rima, 2008. Cap. 7, p. 153-184

EGGINS, Sam et al. Mercury concentrations in different tissues of turtle and caiman species from the Rio Purus, Amazonas, Brazil. Environmental toxicology and chemistry, v. 34, n. 12, p. 2771-2781, 2015.

ELEUTÉRIO, Bruna Kassia Nunes et al. ASPECTO REPRODUTIVO DO JACARÉ-DE-PAPO-AMARELO (*Caiman latirostris*). ATUALIDADES E FUNDAMENTOS EM REPRODUÇÃO E DESENVOLVIMENTO, 2021.

FERREIRA, M. B; ANTONELLI, A. C.; ORTOLANI, E. L. Intoxicação por cobre, selênio, zinco e cloreto de sódio. In: SPINOSA, H. S; GÓRNIK, S. L.; NET, J. P. Toxicologia aplicada à medicina veterinária. 1.ed. Barueri: Editora Manole, 2008. p.547-558.

FIGUEIRÊDO, Adriana de Carvalho et al. Avaliação e diagnóstico da qualidade da água do Açude de Apipucos, Recife-PE. 2008.

FILOGONIO, R.; ASSIS, V. B.; PASSOS, L. F.; COUTINHO, M. E.. Distribution of populations of broad-snouted caiman (*Caiman latirostris*, Daudin 1802, Alligatoridae) in the São Francisco River basin, Brazil. Brazilian Journal of Biology, v.70, n.4, p.961-968, 2010.

FITTKAU, Ernst J. Crocodiles and the nutrient metabolism of Amazonian waters. Amazoniana: Limnologia et Oecologia Regionalis Systematis Fluminis Amazonas, v. 4, n. 1, p. 103-133, 1973.

FNEM, Fórum Nacional de Entidades Metropolitanas. Região Metropolitana do Recife (PE). Disponível em: <https://fnembrasil.org/regiao-metropolitana-de-recife-pe/>. Acessar: 14 de fevereiro de 2023.

FRANCHI, Mariana et al. Bioconcentration of Cd and Pb by the river crab *Trichodactylus fluviatilis* (crustacea: decapoda). *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 22, p. 230-238, 2011.

FREITAS FILHO, Ricardo Francisco. Dieta e avaliação de contaminação mercurial no jacaré-do-papo-amarelo, *Caiman latirostris*, Daudin, 1802 (Crocodylia, Alligatoridae) em dois Parques Naturais no município do Rio de Janeiro, Brasil; 2008; Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas (Zoologia)) - Universidade Federal de Juiz de Fora.

FREITAS, Ádria de Carvalho. Avaliação da concentração de metais no caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) na costa amazônica brasileira: Implicações para conservação ambiental e saúde pública. 2019.

FURQUIM, Nelson Roberto. Impacto de Produtos Inovadores no Crescimento do Mercado de Zinco Metálico no Brasil. *BBR. Brazilian Business Review*, v. 14, p. 403-416, 2017.

GAGNETEN, A.M.; TUMINI, G.; IMHOF, A.; GERVASIO, S. Comparative study of lead accumulation in different organs of the freshwater crab *Zilchiopsis orinensis*. *Water, Air, and Soil Pollution*, v. 223, p. 617–624, 2012.

GAILLARDET, J.; VIERS, J.; DUPRÉ, B. Elementos traço em águas fluviais. *Tratado de geoquímica*, v. 5, p. 605, 2003.

GALL, Jillian E.; BOYD, Robert S.; RAJAKARUNA, Nishanta. Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: a review. *Environmental monitoring and assessment*, v. 187, n. 4, p. 1-21, 2015.

GALVAN, N. S. Teores de elementos essenciais e não essenciais em *Achyrocline satureioides*. Dissertação, UDESC, 2018

GILANI, Syeda Rubina et al. Toxicidade do sistema nervoso central (SNC) causada por envenenamento por metais: Cérebro como órgão-alvo. *Jornal paquistanês de ciências farmacêuticas*, v. 28, n. 4 de 2015.

GOGLIATH, Melissa et al. Avifauna apreendida e entregue voluntariamente ao Centro de Triagem de Animais Silvestres (CETAS) do IBAMA de Juiz de Fora, Minas Gerais. *Leonardo*, v. 1, n. 3, 2010.

GONZALEZ, Karina Regina. Toxicologia do níquel. *Revista intertox de toxicologia risco ambiental e sociedade*, v. 9, n. 2, p. 30-54, 2016.

GOULART, M. D.; CALLISTO, Marcos. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. *Revista da FAPAM*, v. 2, n. 1, p. 156-164, 2003.

GROTTO, Helena ZW. Metabolismo do ferro: uma revisão sobre os principais mecanismos envolvidos em sua homeostase. *Revista Brasileira de Hematologia e hemoterapia*, v. 30, p. 390-397, 2008.

GUILHERME, Luiz Roberto Guimarães et al. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. *Tópicos em ciências do solo*, v. 4, n. 3, p. 345-90, 2005.

GUIMARÃES, Helder de B.; BRAGA, Ricardo AP; DE OLIVEIRA, Tiago H. Evolução da condição ambiental em fragmentos de mata atlântica na região metropolitana do Recife-PE. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 7, n. 2, p. 306-314, 2012.

GUIMARÃES, Marcelo de A. et al. Toxicidade e tolerância ao cádmio em plantas. *Revista Trópica-Ciências Agrárias e Biológicas*, v. 2, p. 58-68, 2008.

GURGANARI, L. et al. Assessment of heavy metals in cyprinid fishes: Rivers of district Khuzdar Balochistan Pakistan. *Brazilian Journal of Biology*, v. 84, 2022.

HALE, Matthew D. et al. *Reproductive biology of crocodilians*. 2018.

HAUPTMAN, O.; ALBERT, D.M.; PLOWMAN, M.C.; HOPFER S.M.; SUDERMAN F.W Jr. Ocular malformations of *Xenopus laevis* exposed to nickel during embryogenesis. *Annals of Clinical and Laboratory Science*, v.23, n.6, p.397–406, 1993.

HEFFERN, K.; TIERNEY, K.; GALLAGHER, E. P. Comparative effects of cadmium, zinc, arsenic and chromium on olfactory-mediated neurobehavior and gene expression in larval zebrafish (*Danio rerio*). *Aquatic Toxicology*, v. 201, p. 83–90, 2018.

HORAI, Sawako et al. Concentrations of trace elements in American alligators (*Alligator mississippiensis*) from Florida, USA. *Chemosphere*, v. 108, p. 159-167, 2014.

HOUDE, Magali et al. Influence of lake characteristics on the biomagnification of persistent organic pollutants in lake trout food webs. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, v. 27, n. 10, p. 2169-2178, 2008.

HURLEY, Lucille S.; EVERSON, Gladys J. Influence of timing of short-term supplementation during gestation on congenital abnormalities of manganese-deficient rats. *The Journal of Nutrition*, v. 79, n. 1, p. 23-27, 1963.

IGANSI, Gustavo Nascente et al. Efeito da exposição ao cádmio sobre dano oxidativo, morte celular e comportamento de zebrafish. 2012.

IUCN 2023. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2022-2. <<https://www.iucnredlist.org>> ISSN 2307-8235

IUCN- International Union for Conservation of Nature- CSG. Crocodiles, Alligators or Gharials? Disponível em: <<http://www.iucncsg.org/pages/Crocodiles%2C-Alligators-or-Gharials%3F.html>>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2023.

JEFFREE, R. A.; MARKICH, S. J.; TWINING, J. R. Element concentrations in the flesh and osteoderms of estuarine crocodiles (*Crocodylus porosus*) from the Alligator Rivers Region, Northern Australia: biotic and geographic effects. *Archives of environmental contamination and toxicology*, v. 40, n. 2, p. 236-245, 2001.

JEN, Melinda; YAN, Albert C. Syndromes associated with nutritional deficiency and excess. *Clinics in dermatology*, v. 28, n. 6, p. 669-685, 2010.

JESUS, H. C. et al. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da ilha de Vitória-ES. *Quim.Nova*, 27, 3, p. 378-386, 2004.

JESUS, Rosenaide Santos de. Metais traço em sedimentos e no molusco bivalve *Anomalocardia brasiliana* (Gmelin, 1791), municípios de madre de deus e de Saubara, Bahia. 2011.

JIANG, R.F.; MA, D.Y.; ZHAO, F.J.; McGRATH, S.P. Cadmium hyperaccumulation protects *Thlaspi caerulescens* from leaf feeding damage by thrips (*Frankliniella occidentalis*). *New Phytologist*, v.167, p.805-814, 2005.

JONES, Graham B.; MERCURIO, Phil; OLIVIER, F. Zinc in fish, crabs, oysters, and mangrove flora and fauna from Cleveland Bay. *Marine Pollution Bulletin*, v. 41, n. 7-12, p. 345-352, 2000.

JUCOSKI, Gládis de Oliveira. Toxicidade de ferro e metabolismo antioxidativo em *Eugenia uniflora* L. 2011.

KAMRAN, Muhammad et al. A regulação aprimorada mediada pelo ácido jasmônico do sistema de defesa oxidativo da glioxalase e a absorção reduzida de cromo contribuem para aliviar a toxicidade do cromo (VI) em choysum (*Brassica parachinensis* L.). *Ecotoxicologia e Segurança Ambiental* , v. 208, p. 111758, 2021.
See More

KHAN, Bernine; TANSEL, Berrin. Mercury bioconcentration factors in American alligators (*Alligator mississippiensis*) in the Florida Everglades. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 47, n. 1, p. 54-58, 2000.

KORNIK, Rachel; ZUG, Kathryn A. Nickel. *DERM*, v. 19, n. 1, p. 3-8, 2008.

KROSCWITZ, J. I. (Ed.). *Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology*. 4th ed. New York: John Wiley & Sons, 1995.

KÜPPER, H.; PARAMESWARAN, A.; LEITENMAIER, B.; TRTÍLEK, M.; SETLÍK, I. Cadmium-induced inhibition of photosynthesis and long-term acclimation to cadmium stress in the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *New Phytologist*, p.1-20, 2007.

LARINI, L.; CARVALHO, D.; SALGADO, P. E. Chumbo: exposição e efeitos tóxicos. *Rev. bras. saúde ocup*, p. 13-8, 1982.

LARRIERA, A. (Eds.). La conservación y el Manejo de Caimanes y Cocodrilos de América Latina. Piracicaba: CN Editoria, 2002. 119-125.

LATIF, F. et al. Studies on bioaccumulation patterns, biochemical and genotoxic effects of copper on freshwater fish, *Catla catla*: an in vivo analysis. *Brazilian Journal of Biology*, v. 84, 2022.

LÁZARO, Wilkinson L. et al. Non-lethal sampling for mercury evaluation in crocodilians. *Chemosphere*, v. 138, p. 25-32, 2015.

LEBRE, Rosário et al. Intoxicação aguda por sulfato de cobre: caso clínico. 2005.

Li X, Chen B, Feng G, Christie P (2002) Role of arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of Zn phytotoxicity and mineral nutrition of host plants. In 17th WCSS, Thailand.

LIMA, Daniel Pandilha de et al. Contaminação por metais pesados em peixes e água da bacia do rio Cassiporé, Estado do Amapá, Brasil. *Acta Amazonica*, v. 45, p. 405-414, 2015.

LOPES, João Pedro Zanetti. Urbanização e conflitos com fauna silvestre: ações e percepções da ONG Voluntários da Fauna. 2022.

LUKINA, A. O. et al. Evaluating trivalent chromium toxicity on wild terrestrial and wetland plants. *Chemosphere*, v. 162, p. 355-364, 2016.

MACEDO, S. J.; BRAYNER, FMM. avaliação das concentrações de metais traço nos sedimentos do parque dos manguezais, Região Metropolitana do Recife (RMR), Pernambuco, Brasil. HKP SILVA.2010.

MACHADO, Ingrid C. et al. Estudo da ocorrência dos metais pesados Pb, Cd, Hg, Cu e Zn na ostra de mangue *Crassostrea brasiliana* do estuário de CananéiaSP, Brasil. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, v. 61, n. 1, p. 13-8, 2002.

MAFRA, Denise; COZZOLINO, Sílvia Maria Franciscato. Importância do zinco na nutrição humana. *Revista de Nutrição*, v. 17, p. 79-87, 2004.

MANOLIS, SC et al. Concentrações de oligoelementos em ovos selvagens de crocodilos de água salgada. 2002.

MARINHO, G; Leitão, L; Lacerda, N. (2007). Transformações urbanísticas na região Metropolitana do Recife: um estudo prospectivo. Cadernos Metrópole, São Paulo, n17, p. 193-217.

MARINS, K. et al. Iron and manganese present in underground water promote biochemical, genotoxic, and behavioral alterations in zebrafish (*Danio rerio*). Environmental Science and Pollution Research, v. 26, n. 23, p. 23555–23570, 2019.

MARIONI, B.; FARIAS, I.; VERDADE, L.; BASSETI, L.; COUTINHO, M. E.; DE MENDONÇA, S. H. S. T.; VIEIRA, T. Q.; MAGNUSSON, W. E.; CAMPOS, Z. Avaliação do risco de extinção do jacaré-açu *Melanosuchus niger* (Spix, 1825) no Brasil. Biodiversidade Brasileira, v. 3, n. 1, p. 31-39, 2013a.

MARKERT, Bernd A.; BREURE, Anton M.; ZECHMEISTER, Harald G. Definitions, strategies and principles for bioindication/biomonitoring of the environment. In: Trace Metals and other Contaminants in the Environment. Elsevier, 2003. p. 3-39.

MARQUES, D., et al. Entenda os desafios dos centros de reabilitação de animais silvestres. Blog: eCycle e Fauna News. 2021. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/a-luta-diaria-dos-centros-de-atendimento-a-fauna-silvestre-no-brasil/>. Acesso em: 01 de Abril 2023.

MARQUES, Thiago Simon et al. Estrutura populacional do jacaré-de-papo-amarelo (*Caiman latirostris*) em corpos d'água naturais e antrópicos associados a uma paisagem silvicultural. 2016.

MARSCHNER P, Crowley D, Rengel Z (2011) Rhizosphere interactions between microorganisms and plants govern iron and phosphorus acquisition along the root axis - model and research methods. Soil Biology and Biochemistry 43: 883-894.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. San Diego: Academic, 1995. 902p.

MARTELLI, A. et al. Cadmium toxicity in animal cells by interference with essential metals. *Biochimie*, v. 88, n. 11, p. 1807-1814, 2006.

MARTIN, A. C.; SCHABBACH, L. M.; FOLGUERAS, M. V. Síntese de pigmentos de níquel utilizando areia descartada de fundição como fonte de sílica. *Cerâmica*, v. 65, p. 562-568, 2019.

MARTINS, R. Acumulação e libertação de metais pesados por briófitas aquáticas. 2004. Tese (Doutorado) - Universidade do Porto.

MARTINS, Thaís Fabiane Gomes et al. Bioindicadores para avaliação do impacto ambiental em ecossistemas aquáticos e os efeitos dos contaminantes sobre os organismos aquáticos, 2022.

MASCARENHAS-JUNIOR, Paulo B.; DOS SANTOS, Ednilza Maranhão; DE SOUSA CORREIA, Jozelia Maria. Diagnóstico dos resgates de jacarés na região metropolitana do Recife, Pernambuco. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 9, n. 4, p. 138-145, 2018.

MASCARENHAS-JUNIOR, Paulo et al. Conflicts between humans and crocodilians in urban areas across Brazil: a new approach to support management and conservation. *Ethnobiology and Conservation*, v. 10, 2021.

MATOZZO, Valerio; MARIN, Maria Gabriella. The role of haemocytes from the crab *Carcinus aestuarii* (Crustacea, Decapoda) in immune responses: a first survey. *Fish & shellfish immunology*, v. 28, n. 4, p. 534-541, 2010.

MEDEIROS, M. de A. Zinco. *Química Nova na Escola*, v. 34, n. 3, p. 159-160, 2012.

MEDEM, F. 1983. *Los Crocodylia de Sur America*. Vol 2. Ed. Carrera. 270p.

MEDEM, F. *Los Crocodylia de Sur América*. Colômbia, Fondo Colombiano de Investigaciones Científicas, 1981.

MELLO, Ericson Ramos et al. Aves recebidas no Centro de Triagem de Animais Silvestres (CETAS) de Seropédica, Rio de Janeiro, 2008 a 2014: diagnóstico e análise. 2016.

MELO, M. T. Q. Dieta do Caiman latirostris no sul do Brasil. La conservación y manejo de los Crocodylia de America Latina, v. 2, p. 119-125, 2002.

MENEZES, Maria Luiza Gomes Garrido. Estudos sócio-geoambientais em manguezal do sul do estado da bahia: utilização do crustáceo *goniopsiscruentata* (Latreille, 1803) como bioindicador de contaminação por metais. 2018.

MÉRIEUX NUTRISCIENCES. RDC 487 e IN 88: Novos Limites para Contaminantes em Alimentos. 2021. Disponível em: <https://www.merieuxnutrisciences.com/br/rdc-487-e-in-88-novos-limites-para-contaminantes-em-alimentos/> Acessado em: 27 de junho de 2021.

MIGUEL, Paulo Sérgio Balbino et al. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. CES revista, v. 24, n. 1, p. 13-29, 2010

MIRANDA FILHO, Adalberto Luiz et al. Cromo hexavalente em peixes oriundos da Baía de Sepetiba no Rio de Janeiro, Brasil: uma avaliação de risco à saúde humana. 2011.

MITCHELL G (2005) Mapping hazard from urban non-point pollution: a screening model to support sustainable urban drainage planning; J. Environ. Manage.; 74; 1-9.

MOREIRA, Ana Paula. Efeito dos metais pesados em organismos aquáticos: o uso do *Geophagus brasiliensis* (Quoy & Gaimard, 1824) como bioindicador. 2013.

MORITA, Clarissa Harumi Cardoso. Caracterização da fauna recebida e avaliação dos procedimentos em Centros de Triagem de Animais Silvestres (CETAS). 2009.

MOULTON, T.P.; Magnusson, W.E. & Melo, M.T.Q. 1999. Growth of *Caiman latirostris* inhabiting a coastal environment at Ilha do Cardoso, SP, Brazil. Journal of Herpetology, 33: 479-484

MOZAFFARI, A.A. et al. Industrial copper intoxication of Iranian fat-tailed sheep in Kerman province, Iran. Turkish Journal of Veterinary and Animal, v.33, p.113-119, 2009.

MUDREK, Jessica Rhaiza et al. Ecologia populacional e alimentar do jacaré-paguá *Paleosuchus palpebrosus* (Crocodylia: Alligatoridae) em córregos urbanos. 2016.

MUNHOZ, Patrícia Marques. Monitoramento ambiental em região contaminada por chumbo. 2010.

MURTHY, Y. Rama; TRIPATHY, Sunil Kumar; KUMAR, C. Raghu. Chrome ore beneficiation challenges & opportunities—A review. *Minerals Engineering*, v. 24, n. 5, p. 375-380, 2011.

NASCIMENTO, Bartolomeu Braz do. Vulnerabilidade do sistema de abastecimento de água potável da Região Metropolitana do Recife: intermitência e poluição. 2003. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL et al. Health effects of excess copper. In: *Copper in drinking water*. National Academies Press (US), 2000.

NAYAK, Prasunpriya. Aluminum: impacts and disease. *Environmental research*, v. 89, n. 2, p. 101-115, 2002.

NAZ, Rabia et al. Combined ability of salicylic acid and spermidine to mitigate the individual and interactive effects of drought and chromium stress in maize (*Zea mays* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 159, p. 285-300, 2021.

NEGROMONTE, Mayara Gabrielly et al. Resgate, apreensão e destinação da herpetofauna pelos órgãos de fauna na região metropolitana do Recife, Pernambuco: contribuição para conservação. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 4, p. 176-193, 2021.

Neto, M.F.C., Stolf, H.O., Haddad Junior, V. (2013): Ataque de jacaré a pescador no Pantanal de Mato Grosso (Brasil): relato de caso. *Diagnóstico e Tratamento*. 18: 21–23.

NEVAREZ, Javier. Crocodilians. In: *Manual of exotic PET practice*. WB Saunders, 2009. p. 112-135.

NILSEN, Frances M. et al. Trace element biodistribution in the American alligator (*Alligator mississippiensis*). *Chemosphere*, v. 181, p. 343-351, 2017.

NÓBREGA, A.S.C. (2011) - Fontes de contaminação no estuário do Rio Capibaribe, Pernambuco. 48 p., Monografia de Graduação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. Não publicado.

ORTH, Jaqueline Tomasini et al. AVALIAÇÃO DO NÍQUEL PARA A RECUPERAÇÃO DE PILHAS E BATERIAS SECUNDÁRIAS, 2022.

OTONI, Otoniel. Gestão ambiental e responsabilidade social e corporativa: um estudo de caso sobre a indústria de cimento no Distrito Federal. 2011.

PAIXÃO, João dos Santos Neto; MIRANDA, Cindy Emanuely Pereira; COMARELLA, Larissa. Análise do Risco Sanitário de Alimentos: Qualidade Microbiológica do Molusco Sururu (*Mytella* sp.). Revista Saúde e Desenvolvimento, v. 10, n. 5, p. 85-100, 2016.

PANTALEÃO, S.; CHASIN, A. O Chumbo Como Agente Contaminante Do Meio Ambiente. Revista Acadêmica, v. 1, n. 1, p. 12, 2014.

PANTOJA-LIMA, J.; Rebêlo, G.H. & Pezzuti, J.C.B. 2010. Spectacled (*Caiman crocodilus*) and black caiman (*Melanosuchus niger*) populations in the Abufari Biological Reserve, Amazonas, Brazil. Revista Colombiana de Ciencia Animal, 2(1): 33-44.

POLETTA, G. L. et al. Caiman latirostris (broad-snouted caiman) as a sentinel organism for genotoxic monitoring: basal values determination of micronucleus and comet assay. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, v. 650, n. 2, p. 202-209, 2008.

POLETTA, G. L. et al. Caiman latirostris (broad-snouted caiman) as a sentinel organism for genotoxic monitoring: basal values determination of micronucleus and comet assay. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, v. 650, n. 2, p. 202-209, 2008.

POMPÊO, Marcelo; MOSCHINI-CARLOS, Viviane. Avaliação da degradação da qualidade da água do reservatório Carlos Botelho em Itirapina, São Paulo, Brasil, por meio de imagens do satélite Sentinel 2. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 27, p. 279-290, 2022.

PORTO, Luiz Carlos Santos; ETHUR, Eduardo Miranda. Elementos traço na água e em vísceras de peixes da Bacia Hidrográfica Butuí-Icamaquã, Rio Grande do Sul, Brasil. *Ciência Rural*, v. 39, p. 2512-2518, 2009.

PRADA, Silvio Miranda; DE OLIVEIRA, Carlos Eduardo Souto. A importância do chumbo na História. Conselho Regional de Química, 2010. Disponível em: https://www.crq4.org.br/a_importancia_do_chumbo_na_historia. Acesso em: 04 jan. 2023.

PREFEITURA DO RECIFE. Caracterização do território. <https://www2.recife.pe.gov.br/pagina/caracterizacao-do-territorio>. Acesso em: 08 de fev. de 2023.

PROHASKA, JOSEPH R. Functions of trace elements in brain metabolism. *Physiological reviews*, v. 67, n. 3, p. 858-901, 1987.

QUINTELA, Fernando Marques et al. Arsenic, lead and cadmium concentrations in caudal crests of the yacare caiman (*Caiman yacare*) from Brazilian Pantanal. *Science of The Total Environment*, v. 707, p. 135479, 2020.

RADOSTITS, O.M. et al. Diseases associated with inorganic and farm chemicals. In: _____. (Eds.). *Veterinary medicine: a textbook of diseases of cattle, horses, sheep, pigs, and goats*. Oxford: Elsevier, 2007. p.1798-1849.

RAINBOW, Philip S. Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, v. 31, n. 4-12, p. 183-192, 1995.

REZENDE, Pedro Leonardo de Paula et al. Suplementação com cromo (Cr3) para bovinos em condições de estresse. 2010.

RIBEIRO, Maria Lúcia et al. Contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: avaliação preliminar. *Química Nova*, v. 30, p. 688-694, 2007.

RIVERA, S. J. et al. Low total mercury in *Caiman yacare* (Alligatoridae) as compared to carnivorous, and non-carnivorous fish consumed by Amazonian indigenous communities. *Environmental Pollution*, v. 218, p. 366-371, 2016.

ROBERTO, I. J. Reprodução do jacaré-de-papo-amarelo. In: MERÇON, L.; SANTOS, M. R.; NÓBREGA, Y. Marginais: jacarés da Mata Atlântica. Vitória: Instituto Marcos Daniel, 2019. p. 75-77.

ROCHA, A.A.; PEREIRA, D.N.; PÁDUA, B.H. Produtos de pesca e contaminantes químicos na água da represa Billings, São Paulo (Brasil). Revista de Saúde pública, v.19, p.401-410, 1985.

RODRIGUES, Cristianne Ferreira Machado et al. Desafios da saúde pública no Brasil: relação entre zoonoses e saneamento. Scire Salutis, v. 7, n. 1, p. 27-37, 2017.

ROSA, Ivan Valadão; GOMES, Ronaldo Frederico. Intoxicação crônica por cobre em ovinos. 1982.

ROSS, Charles A. Crocodiles and alligators. Facts on file, 1989.

SALAZAR-PAMMO, Andrea C.; ACHÁ, Dario; MIRANDA-CHUMACERO, Guido. Preferential Liver Accumulation of Mercury Explains Low Concentrations in Muscle of Caiman yacare (Alligatoridae) in Upper Amazon. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, v. 106, n. 2, p. 264-269, 2021.

SALGADO, P. E. T. Toxicologia dos metais. In: OGA, S. Fundamentos de toxicologia. Cap. 3.2, p. 154-172. São Paulo, 1996.

SAMPAIO, J. A., Andrade, M. C. D., Dutra, A. J. B., & Penna, M. T. M. (2008). Manganês. CETEM/MCTI.

SANTANA, Julianna de Lemos. Avaliação das alterações morfológicas e efeitos genotóxicos em crustáceos da infraordem Brachyura expostos a sedimentos contaminados por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, organoclorados e metais traço em ambientes recifais. 2022

SANTOS GCGD (2005). Comportamento de B, Zn, Mn, e Pb em solo contaminado sob cultivo de plantas e adição de fontes de matéria orgânica como amenizantes do efeito tóxico. Tese de Doutorado.

SANTOS, D.C.M. 2009 Toxidez aguda do zinco em lambaris (*Astyanax aff. bimaculatus*). Viçosa, 125p. (Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa).

SANTOS, Rayssa Lima et al. Metallic elements in aquatic herpetofauna (Crocodylia; Testudines) from a lentic Atlantic rainforest environment in northeastern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 193, n. 5, p. 1-10, 2021.

SARGENTELLI, Vagner; MAURO, Antonio Eduardo; MASSABNI, Antonio Carlos. Aspectos do metabolismo do cobre no homem. *Química Nova*, v. 19, n. 3, p. 290-293, 1996.

SAVORY, John; HERMAN, Mary M.; GHRIBI, Othman. Mechanisms of aluminum-induced neurodegeneration in animals: Implications for Alzheimer's disease. *Journal of Alzheimer's Disease*, v. 10, n. 2-3, p. 135-144, 2006.

SCHNEIDER, Larissa et al. An evaluation of the use of reptile dermal scutes as a non-invasive method to monitor mercury concentrations in the environment. *Chemosphere*, v. 119, p. 163-170, 2015.

SCHNEIDER, Larissa et al. Mercury concentration in the spectacled caiman and black caiman (*Alligatoridae*) of the Amazon: implications for human health. *Archives of environmental contamination and toxicology*, v. 63, n. 2, p. 270-279, 2012.

SCHWERTMANN, UTRM; TAYLOR, Reginald M. Óxidos de ferro. *Minerais em ambientes de solo*, v. 1, p. 379-438, 1989.

SEILKOP, Steven K.; OLLER, Adriana R. Respiratory cancer risks associated with low-level nickel exposure: an integrated assessment based on animal, epidemiological, and mechanistic data. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, v. 37, n. 2, p. 173-190, 2003.

SERAFIM, M. L. Identificação e perfil de resistência a antimicrobianos de bactérias isoladas de diferentes amostras provenientes do aterro controlado da cidade de Campos dos Goytacazes-RJ. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2013.

SHAIBUR, Molla Rahman. Heavy metals in chrome-tanned shaving of the tannery industry are a potential hazard to the environment of Bangladesh. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, p. 100281, 2022.

SHARMA, V. K. et al. Cases and solutions: metals and grain size distribution in soil of the middle Rio Grande basin, Texas, USA. *Environmental Geology*, v. 39, v. 6, p. 698-704, 2000.

SILVA, Jean Carlos Ramos. Zoonoses e doenças emergentes transmitidas por animais silvestres. *Associação Brasileira de Veterinários de Animais Selvagens/ABRAVAS*, p. 1-4, 2004.

SILVA, Jose Adailton Barroso et al. A urbanização no mundo contemporâneo e os problemas ambientais. *Caderno de Graduação-Ciências Humanas e Sociais-UNIT-SERGIPE*, v. 2, n. 2, p. 197-207, 2014.

SINGH, Jiwan; KALAMDHAD, Ajay S. Effects of heavy metals on soil, plants, human health and aquatic life. *Int J Res Chem Environ*, v. 1, n. 2, p. 15-21, 2011.

SIROSKI, P., BASSETTI, L., PINA, C. & LARRIERA, A. 2020. Caiman latirostris. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2022-2. Acessado em 17 de março de 2023.

SOARES, Cláudio Roberto Fonsêca Sousa et al. Toxidez de zinco no crescimento e nutrição de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, p. 339-348, 2001.

SODRÉ, Fernando Fabríz. Fontes Difusas de Poluição da Água: Características e métodos de controle. *Agricultura*, v. 1, n. 20, p. 30, 2012.

SOININEN, Janne; KÖNÖNEN, Katriina. Comparative study of monitoring South-Finnish rivers and streams using macroinvertebrate and benthic diatom community structure. *Aquatic Ecology*, v. 38, p. 63-75, 2004.

SOMAWEERA, Ruchira et al. The ecological importance of crocodylians: towards evidence-based justification for their conservation. *Biological Reviews*, v. 95, n. 4, p. 936-959, 2020.

SORENSEN, E.M. Metal poisoning in fish. Boca Raton: CRC Press, 1991.

SOUSA, Lucia et al. Problemas ambientais urbanos: desafios para a elaboração de políticas públicas integradas. Cadernos metrópole, n. 19, 2008.

SOUZA FILHO, Moacir Pereira de; CALUZI, João José. Sobre as experiências relativas à imantação do ferro e do aço pela ação da corrente voltaica: uma tradução comentada do artigo escrito por François Arago. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, p. 1603.1-1603.12, 2009.

SOUZA, Ana Kely Rufino et al. Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores. Acta Biomédica Brasiliensia, v. 9, n. 3, p. 95-106, 2018.

SOUZA, Caroline Araújo de. O caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763)(Crustacea, Brachyura, Ocypodidae), como espécie bioindicadora do estado de conservação de manguezais. 2016.

SOUZA, Karen Giorgeti et al. A influência do zinco no reparo ósseo: Uma revisão de literatura. Revista Virtual de, 2018.

SOUZA, Priscila. Testudines no Cetras Tangará/Pernambuco com ênfase a entrega voluntária. Monografia apresentada ao curso de Licenciatura em Ciências Biológicas/UFRPE como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciado em Ciências Biológicas. 2021

SPARLING, D. W.; LOWE, T. P.; CAMPBELL, P. G. C. Ecotoxicology of aluminium to fish and wildlife. In 'Research Issues in Aluminium Toxicity'.(Eds RA Yokel and MS Golub.) pp. 47–68. 1997.

TAKEDA, Atsushi. Manganese action in brain function. Brain Research Reviews, v. 41, n. 1, p. 79-87, 2003.

TELLEZ, Marisa; MERCHANT, Mark. Biomonitoring heavy metal pollution using an aquatic apex predator, the American alligator, and its parasites. PLoS One, v. 10, n. 11, p. e0142522, 2015.

THIRION, Felix et al. Concentrações de oligoelementos em escudos caudais de *Crocodylus moreletii* e *Crocodylus acutus* em Belize em relação a variáveis biológicas e uso da terra. *Ecotoxicologia e Segurança Ambiental*, v. 231, p. 113164, 2022.

UNDERWOOD, M. J. et al. Reduction of vein graft intimal hyperplasia by ex vivo treatment with desferrioxamine manganese. *Journal of vascular research*, v. 30, n. 4, p. 239-239, 1993.

VAN Assche F, Clijsters H (1990) Effects of metals on enzyme activity in plants. *Plant Cell Environ.* 13:195-206.

VANZ, Argeu; MIRLEAN, Nicolai; BAISCH, Paulo. Avaliação de poluição do ar por chumbo particulado: Uma abordagem geoquímica. *Química Nova*. v.26, n.1, p.25-29. 2003.

VAZ, Flávia Sgarbi; FURLAN, Érika Fabiane. Contaminantes inorgânicos em pescado. *TECNOLOGIA DE ALIMENTOS: TÓPICOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS - VOLUME 2*. 2020.

VEIT, Hugo Marcelo. Reciclagem de cobre de sucatas de placas de circuito impresso. 2005.

VERDADE, L. M.; LARRIERA, A.; PIÑA, C. I. Broad-snouted caiman *Caiman latirostris*. In: MANOLIS, S. C.; STEVENSON, C. (Eds.). *Crocodiles. Status Survey and Conservation Action Plan*. Crocodile Specialist Group: Darwin, 3a. ed., 2010, p. 18-22.

VERDADE, L.M. & LAVORENTI, A. 1990. Preliminary notes on the status and conservation of *Caiman latirostris* in the State of São Paulo, Brazil; directions of the captive breeding, reintroduction and management program. pp.231-237. In: *Proc. 10th Work. Meet. Croc. Spec. Group. Vol. 2*. IUCN - The World Conservation Union, Gland, Switzerland.

VERDADE, Luciano M. A exploração da fauna silvestre no Brasil: jacarés, sistemas e recursos humanos. *Biota neotrópica*, v. 4, p. 1-12, 2004.

VERDADE, Luciano M.; PIÑA, Carlos I. Caiman latirostris. Catalogue of American Amphibians and Reptiles (CAAR), 2006.

VERDADE, Luciano Martins; PIÑA, Carlos I. O jacaré-de-papo-amarelo (Caiman latirostris Daudin, 1802). Herpetología no Brasil, v. 2, p. 295-307, 2007.

VIEIRA, L. M. et al. Mercury and methyl mercury ratios in caimans (Caiman crocodilus yacare) from the Pantanal area, Brazil. Journal of Environmental Monitoring, v. 13, n. 2, p. 280-287, 2011.

VILAPLANA, J.; ROMAGUERA, C.; GRIMALT, F., CORNELLANA, F. New trends in the use of metals in jewelery. Contact Dermatitis, v.25, p.124-148, 1991.

VIOLANTE, A. et al. Mobility and bioavailability of heavy metals and metalloids in soil environments. Journal of soil science and plant nutrition, v. 10, n. 3, p. 268-292, 2010.

WAALKES, Michael P. Carcinogênese do cádmio. Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis, v. 533, n. 1-2, pág. 107-120, 2003.

WANG, Wenke et al. Resposta do sistema de águas subterrâneas na Bacia do Guanzhong (China central) às mudanças climáticas e às atividades humanas. Hydrogeology Journal, v. 26, p. 1429-1441, 2018.

WEN, Chang Yau et al. Comparação de Ligas Comerciais de Zinco através de Análises Mecânica e Microestruturais. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso.

WU YL, Davidson CI, Dolske DA, Sherwood SI (1992) Dry deposition of atmospheric contaminants to surrogate surfaces and vegetation; Aerosol Sci. Technol.; 16; 65-81.

WU, Feng et al. Recycling supercapacitor activated carbons for adsorption of silver (I) and chromium (VI) ions from aqueous solutions. Chemosphere, v. 238, p. 124638, 2020.

WU, Hsien-Ming et al. Lead level in seminal plasma may affect semen quality for men without occupational exposure to lead. Reproductive Biology and Endocrinology, v. 10, n. 1, p. 1-5, 2012.

YABE, Maria Josefa Santos; OLIVEIRA, Elisabeth de. Metais pesados em águas superficiais como estratégia de caracterização de bacias hidrográficas. *Química Nova*, v. 21, p. 551-556, 1998.

YANG, Y.; SUN, C.; YAO, Y.; ZHANG, Y.; ACHAL, V. Growth and physiological responses of grape (*Vitis vinifera* *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 33, n. 4, p. 1483-1491, July 2011.

YE, Jien et al. Remoção de cromo hexavalente de efluentes por nanopartículas bimetálicas de Cu/Fe. *Relatórios Científicos*, v. 11, n. 1, pág. 10848, 2021. See More.

YOKOI, K.; UTHUS, E.O.; NIELSEN, F.H. Nickel deficiency diminishes sperm quantity and movement in rats. *Biological Trace Element Research*, v.93, p.141-154, 2003.

YUAN, S.-S. et al. Negative effect of chronic cadmium exposure on growth, histology, ultrastructure, antioxidant and innate immune responses in the liver of zebrafish: Preventive role of blue light emitting diodes. *Ecotoxicology and Environmental Safety* v. 139, p. 18–26, 2017.

ZHOU, Q.-L.; LI, W.-Y.; ZHENG, J.-L. Life-cycle exposure to cadmium induced compensatory responses towards oxidative stress in the liver of female zebrafish. *Chemosphere*, v. 210, p. 949–957, 2018.

ZHOU, Qunfang et al. Biomonitoring: an appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. *Analytica chimica acta*, v. 606, n. 2, p. 135-150, 2008.

5. ARTIGO CIENTÍFICO

CAIMAN LATIROSTRIS (DAUDIN 1802) (JACARÉ-DE-PAPO-AMARELO) COMO BIOMONITOR DE CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE.

Anna Thereza de Oliveira Barbosa^a, Rayssa Lima dos Santos^b, George Tadeu Nunes Diniz^c, Ednilza Maranhão dos Santos^d, Jozélia Maria de Sousa Correia^d.

^a Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Biociências- Recife, Pernambuco, Brasil, anna.thereza@ufpe.br

^b Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Recife, Pernambuco, Brasil.

^c Centro de Pesquisa Aggeu Magalhães/ NEG- Núcleo de Geoprocessamento e Estatística, Recife, Pernambuco, Brasil.

^d Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Rua Manoel de Medeiros, Recife-PE, Pernambuco, Brasil.

RESUMO

Os crocodilianos são amplamente utilizados em pesquisas como indicadores de contaminação ambiental. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar as concentrações de Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn em sangue e tegumento (escama, músculo e pele) de *Caiman latirostris* (jacaré-de-papo-amarelo) resgatados na Região Metropolitana do Recife - Estado de Pernambuco, a fim de quantificar as concentrações elementares e correlacioná-las com as variáveis matriz biológica, sexo e classe etária. Os animais utilizados na pesquisa foram oriundos de resgates realizados pelo Centro de Triagem e Reabilitação de Animais Silvestres – CETRAS Tangará entre os anos de 2014 a 2020. Após a captura, os jacarés foram contidos e triados para avaliação do estado clínico, em seguida, foram coletadas amostras de sangue, escama, pele e músculo. Em seguida, as amostras foram digeridas com HNO₃ 65% em forno microondas analítico, posteriormente filtradas e diluídas para leitura em Espectrômetro de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES). Foram coletadas amostras de 53 indivíduos (20 fêmeas, 33 machos) enquadrados nas classes etárias: Subadultos (n= 30) e Adultos (n= 23). No total,

foram analisadas 380 amostras para detecção e quantificação dos contaminantes, sendo elas: Escama (n= 106), Pele (n= 104), músculo (n=66) e Sangue (n=106). De modo geral, Al, Fe e Zn apresentaram as concentrações mais elevadas em comparação aos outros elementos para todas as matrizes. A matriz sangue (Fe> Zn> Al> Cu> Mn> Cr> Pb> Cd> Ni) apresentou os níveis mais altos de metais ($p < 0,0001$), seguido da escama (Zn> Al> Fe> Cu> Mn> Cr> Pb> Cd> Ni) ($p < 0,0001$), músculo (Zn> Al> Fe> Cu> Mn> Cr> Pb> Cd> Ni) ($p > 0,05$) e pele (Zn> Al> Fe> Cu> Mn> Cr> Cd> Ni> Pb) ($p > 0,05$). Quando avaliado o parâmetro sexo, observou-se que os machos apresentaram as medianas de concentrações mais altas que as fêmeas no sangue para o elemento Al ($0,260 \pm 0,280 \text{ mg L}^{-1}$, $p= 0,0032$) e as fêmeas apresentaram as medianas de concentrações mais altas que os machos no músculo para o elemento Zn ($0,330 \pm 0,140 \text{ mg L}^{-1}$ $p= 0,0531$). Em relação à classe etária, diferenças estatísticas foram observadas entre indivíduos adultos vs subadultos na matriz escama para os elementos Al ($p= 0,0008$), Fe ($p= 0,0127$) e Zn ($p= 0,0108$), no qual os indivíduos adultos mostraram concentrações mais elevadas. Todas as concentrações estiveram dentro dos Limites Máximos Tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos, exceto para o ferro, que obteve um valor maior. Este estudo evidencia que a utilização de matrizes biológicas não letais pode comprovar a exposição dos crocodilianos aos contaminantes presentes nos corpos hídricos das áreas urbana. Portanto, recomenda-se a utilização da matriz sanguínea para obter uma resposta recente e a matriz escama como testemunho de uma contaminação histórica no ambiente. Além disso, esse trabalho demonstrou a eficácia do *Caiman latirostris* como um biomonitor ambiental.

Palavras chaves: Crocodilianos, metal pesado, monitoramento ambiental, ecossistema aquático.

ABSTRACT

Crocodylians are widely used in research as indicators of environmental contamination. Therefore, the objective of this study was to evaluate the concentrations of Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, and Zn in the blood and tegument (scale, muscle, and skin) of *Caiman latirostris* (broad-snouted caiman) rescued in the Metropolitan Region of Recife - Pernambuco State, in order to quantify the elemental concentrations and correlate them with the biological matrix variables, sex, and age class. The animals used in the research were from rescues carried out by the Tangará Wildlife Screening and Rehabilitation Center - CETRAS between the years 2014 to 2020. After capture, the caimans were restrained and sorted for clinical evaluation, and then blood, scales, skin, and muscle samples were collected. Then, the samples were digested with 65% HNO₃ in an analytical microwave oven, subsequently filtered and diluted for reading in an Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES). Samples were collected from 53 individuals (20 females, 33 males) classified in the age classes: Subadults (n=30) and Adults (n=23). In total, 380 samples were analyzed for the detection and quantification of contaminants, namely: Scale (n=106), Skin (n=104), Muscle (n=66), and Blood (n=106). In general, Al, Fe, and Zn showed the highest concentrations compared to the other elements for all matrices. The blood matrix (Fe > Zn > Al > Cu > Mn > Cr > Pb > Cd > Ni) presented the highest levels of metals ($p < 0.0001$), followed by the scale (Zn > Al > Fe > Cu > Mn > Cr > Pb > Cd > Ni) ($p < 0.0001$), muscle (Zn > Al > Fe > Cu > Mn > Cr > Pb > Cd > Ni) ($p > 0.05$), and skin (Zn > Al > Fe > Cu > Mn > Cr > Cd > Ni > Pb) ($p > 0.05$). When evaluating the sex parameter, it was observed that males presented higher concentration medians than females in blood for the element Al ($0.260 \pm 0.280 \text{ mg L}^{-1}$, $p = 0.0032$), and females presented higher concentration medians than males in muscle for the element Zn ($0.330 \pm 0.140 \text{ mg L}^{-1}$, $p = 0.0531$). Regarding age class, statistical differences were observed between adult vs. subadult individuals in the scale matrix for the elements Al ($p = 0.0008$), Fe ($p = 0.0127$), and Zn ($p = 0.0108$), in which adult individuals showed higher concentrations. All concentrations were within the Maximum Tolerated Limits (MTL) for contaminants in food, except for iron, which obtained a higher value. This study shows that the use of non-lethal biological matrices can demonstrate the exposure of crocodylians to contaminants present in the water bodies of urban areas. Therefore, the use of blood matrix is recommended to obtain a recent response, and the scale

matrix as evidence of historical contamination in the environment. Furthermore, this study demonstrated the effectiveness of *Caiman latirostris* as an environmental biomonitor.

Keywords: Crocodilians, metals, environmental monitoring, aquatic ecosystems.

1. INTRODUÇÃO

A introdução de metais nos sistemas aquáticos pode ocorrer naturalmente através de processos geoquímicos (YABE e OLIVEIRA, 1998). Porém, a intervenção humana é a maior responsável pela poluição provocada por determinados elementos químicos nos ecossistemas (BRAYNER, 1998). Os rejeitos originários das atividades industriais e urbanas pelo processo acelerado e sem planejamento são descartados inadequadamente, podendo se tornar potencialmente tóxicos. A deposição e acúmulo de elementos químicos nos ecossistemas aquáticos podem causar efeitos negativos nos sistemas e consequentemente na biota ali existente (BARROS, 2008; VERAS, 2020).

Os organismos presentes no local contaminado podem bioacumular ou biomagnificar elementos metálicos, a depender das concentrações expostas e sua taxa de eliminação. A bioacumulação é o processo em que determinados contaminantes podem acumular diretamente (solo ou água) ou indiretamente (ingestão de alimentos) no organismo (MARTINS et. al, 2022). Por outro lado, a biomagnificação é o acúmulo progressivo dos contaminantes ao longo da cadeia alimentar (HOUDE et al., 2008). Em meio a essa problemática, pesquisas estão sendo realizadas utilizando o biomonitoramento ambiental como uma ferramenta que visa avaliar a saúde dos ecossistemas utilizando organismos de diversos níveis taxonômicos, como algas, zooplâncton, moluscos, insetos, peixes e répteis como os crocodilianos (CORREIA et al, 2014; GOULART e CALLISTO, 2003; ZHOU, 2008; WANG et. al, 2016; SILVA, 2020; SANTOS et al., 2021).

Os crocodilianos são utilizados como biomonitores de ecossistemas em todo o mundo (SCHNEIDER et al., 2015; NILSEN et al., 2017; DU PREEZ et al., 2018; LAWSON et al., 2020; SANTOS et al., 2021). Estes animais pertencem à família Alligatoridae e subfamília Caimaninae, que representam os jacarés da América do sul (AMAVET, 2008; VITT e CALDWELL, 2014). O *Caiman latirostris* (DAUDIN, 1802), popularmente conhecido como Jacaré-do-papo-amarelo, está amplamente distribuído no nordeste da Argentina, Brasil, Paraguai, Uruguai e Bolívia (YANOSKY, 1990; COUTINHO et al., 2013). No Estado de Pernambuco essa espécie apresenta um maior número de registros em corpos hídricos da matriz urbana (CORREIA et al., 2021; NEGROMONTE et al, 2021; RAMEH-DE-ALBUQUERQUE et al., 2021).

O *C. latirostris* é considerado uma espécie sentinela com grande importância para manutenção da homeostase do ambiente (POLETTA et al., 2008). Além disso,

essa espécie possui tolerância à poluição por sua capacidade de ocupar ambientes impactados pelas atividades humanas (BASSET, 2016), alimentação generalista e passando por diferentes níveis da cadeia trófica durante o seu longo ciclo de vida (FREITAS-FILHO, 2008; COUTINHO et al., 2013). Esses indivíduos habitam ambientes lênticos como rios, lagoas e estuários, açudes para o gado, reservatórios de usinas hidrelétricas e podem ser encontrados em ambientes modificados pelo homem, como estações de tratamento de efluentes (SCOTT et al. 1990; COUTINHO et al., 2013; MASCARENHAS-JUNIOR et al., 2018; 2020; DOS ANJOS, 2019).

Devido ao impacto direto ou indireto da urbanização, os habitats têm sofrido alterações em sua estrutura física e biótica, causando a formação de microecossistemas (BRUN et al., 2007; MASCARENHAS-JÚNIOR et al., 2021). Como consequência, a fragmentação tem refletido no acesso de diversas espécies para áreas urbanizadas em busca de alimento e novos habitats, ocasionando o contato desses animais (incluindo os jacarés) com a população (BRUN et al. 2007; SILVA, 2014; PREZOTO et al., 2019). Esse fato pode acarretar problemas de saúde pública e ambiental com ocorrências de epidemias de zoonoses (doenças transmitidas de animais para humanos ou vice-versa) (SILVA, 2004; RODRIGUES et al., 2017 ADHIKARI et al. 2020).

Os crocodilianos são diretamente afetados com a coexistência com os seres humanos, seja diretamente pela captura acidental, manejo incorreto trazendo injúrias ou indiretamente pelo despejo incorreto de rejeitos industriais ou domésticos (VERDADE e LAVORENTI, 1990; FILOGÔNIO et al., 2010 ADHIKARI et al., 2020). Nesse contexto o objetivo do presente estudo foi quantificar os níveis dos elementos metálicos: Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Ni e Zn presentes em amostras de sangue e tegumento (pele, músculo e escama) em jacarés-de-papo-amarelo capturados e resgatados na Região Metropolitana do Recife, estado de Pernambuco, Brasil. Buscando correlacionar as concentrações com as variáveis matrizes biológicas (escama, pele, músculo e sangue), sexo (fêmea e macho) e classe etária (subadultos e adultos).

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo.

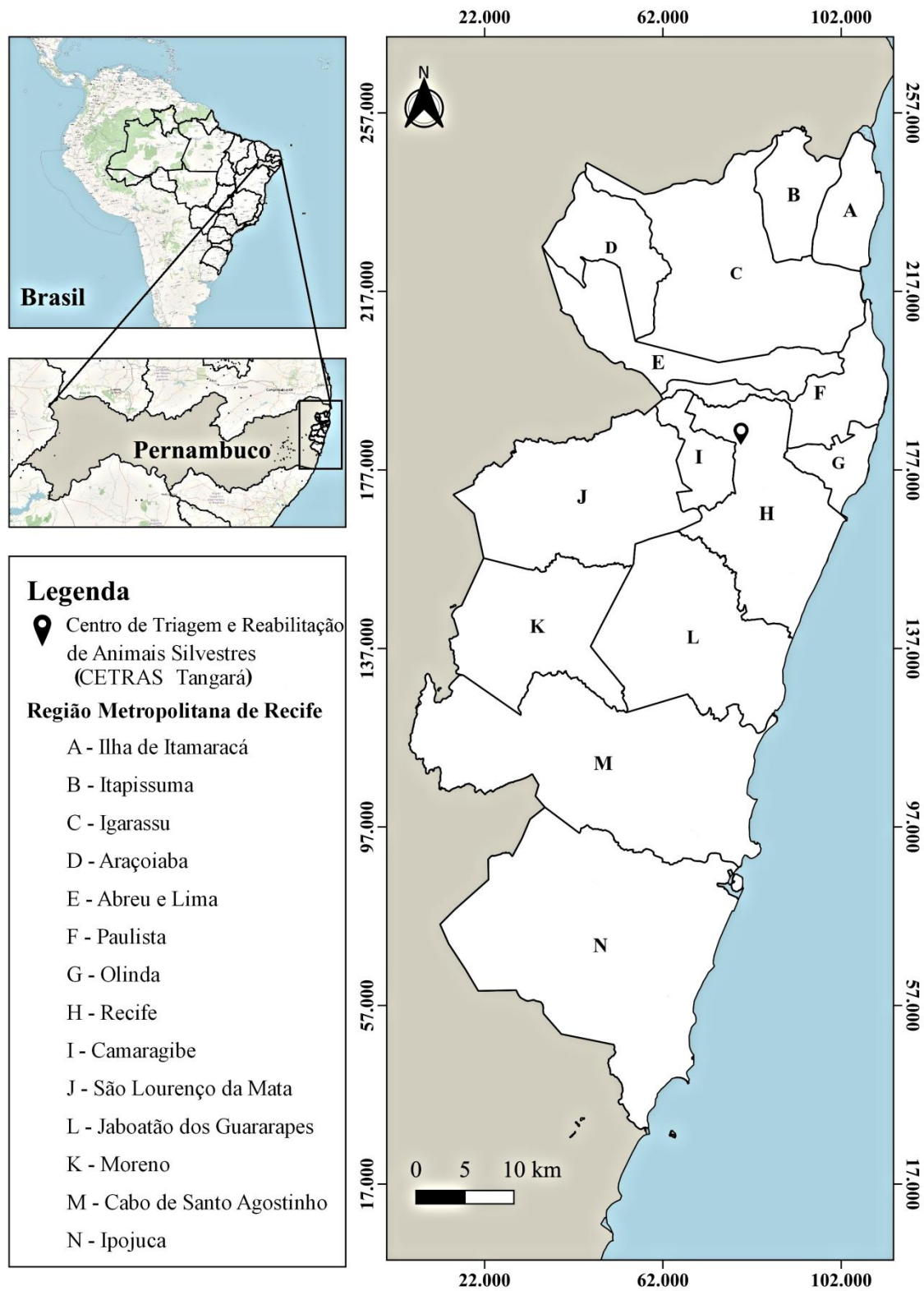
A Região Metropolitana de Recife (8°04' 03" S; longitude 34° 55' 00"W) é a maior Região Metropolitana do Norte-Nordeste brasileiro ocupando uma posição central no litoral nordestino com clima tropical úmido, possui área territorial de 3.207,54 km² no estado de Pernambuco, e engloba 14 municípios Abreu e Lima, Araçoiaba, Cabo de Santo Agostinho, Camaragibe, Igarassu, Ilha de Itamaracá, Ipojuca, Itapissuma, Jaboatão dos Guararapes, Moreno, Olinda, Paulista, Recife e São Lourenço da Mata (FNEM, 2022; PREFEITURA DO RECIFE, 2023).

Além disso, RMR é composta por uma vasta rede hídrica integrada por rios, mangues e alagados (MARINHO et al. 2007). Os principais rios dessa região são: Capibaribe, Beberibe, Tejipió, Pirapama, Ipojuca, Timbó, Massangana, Botafogo, Jaboatão, Jangadinha, Jiquiá e Jordão (APAC, 2022; 2023). Após a apropriação dos seres humanos em áreas próximas dos cursos de água observou-se o aumento da poluição, uma maior quantidade de aterros e modificações nos trajetos dos rios (FILOGONIO et al., 2010).

Durante os períodos chuvosos, nota-se um aumento no registro de jacarés (principalmente o *C. latirostris*) capturados nos municípios da RMR, pois, são formados alagados que possibilitam conexões e passagem para mobilidade desses animais no território. Devido a acelerada perda de habitat nas últimas décadas, ocorreu a necessidade de suas populações se adaptarem a ambientes próximos aos centros urbanos ocasionando maiores registros ocasionais de interação com a população (CPRH, 2022; NEGROMONTE et al. 2021).

O Centro de Triagem e Reabilitação de Animais Silvestres (CETRAS Tangará) da Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco (CPRH), é a instituição pública responsável por receber, reabilitar e destinar os animais silvestres recebidos através de resgate, apreensão e por entrega voluntária (CPRH, 2022). Na parceria firmada entre o CETRAS/CPRH e o Laboratório Interdisciplinar de Anfíbios e Répteis- LIAR da Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE para fins de pesquisa científica. Todos os jacarés que chegaram ao CETRAS no período de 2014 a 2021 foram manejados e triados pela equipe do Projeto Jacaré - LIAR antes da destinação final (áreas de soltura).

Figura 1. Mapa evidenciando os municípios da Região Metropolitana do Recife, Pernambuco, Brasil.



Fonte: Acervo Laboratório Interdisciplinar de Anfíbios e Répteis, 2023.

2.2. Captura, contenção e procedimentos de triagem dos animais.

Os procedimentos adotados neste estudo possuem as autorizações e licenças para coleta de dados com animais selvagens, são elas: Aprovação do Projeto de Pesquisa pelo Conselho Técnico Administrativo (CTA) da UFRPE N° 23082.9433, Licença da Comissão de ética no uso de animais - CEUA N° 068/2014 e Autorização do SISBIO (Sistema de autorização e informação em biodiversidade) N° 39929-4.

Os animais utilizados no estudo foram oriundos de resgates ocorridos no período de 2014 a 2021 na Região Metropolitana do Recife, realizados pela Companhia Independente de Policiamento do Meio Ambiente (CIPOMA), Corpo de Bombeiros Militar, Guarda Ambiental municipal, voluntários e equipe do Centro de Triagem de Animais Silvestres de Pernambuco (CETRAS Tangará/CPRH). O Laboratório Interdisciplinar de Anfíbios e Répteis (LIAR) realizou captura e resgate de jacarés na área do entorno da UFRPE e auxiliou em resgates em outras áreas, quando solicitado pela CPRH. Os jacarés recebidos no CETRAS ficam alojados em recintos e tanque até o momento da triagem realizada pela equipe do Projeto Jacaré (LIAR UFRPE). A captura nos recintos ocorre manualmente com cambão ou uso do laço de cabo de aço fixado em vara telescópica com alcance de 2m, na contenção é utilizado cambão, cordas e fitas adesivas para imobilizar as mandíbulas e os membros locomotores (anterior e posterior).

Após a captura e contenção, os jacarés passaram pela triagem para avaliação do seu estado de saúde e posteriormente pelas etapas: 1) sexagem, realizada observando os órgãos genitais através de uma pinça cirúrgica dentro da cloaca, separando-o da borda (WEBB et al., 1984); 2) marcação, com microchip e recorte de escamas caudais para identificação em caso de posterior recaptura; 3) pesagem, com uso de balanças tipo pesola de 1 a 100kg adaptadas a massa dos animais; 4) biometria, medidas aferidas com auxílio de trena e paquímetro, sendo mensurado o comprimento total (CT) e o comprimento rostro-cloacal (CRC). As classes de tamanho foram categorizadas em: Jovens (≤ 25 cm) classe I, subadultos (25 – 67,9 cm) Classe II, adultos (68 - 99,9 cm) classe III e adultos mais velhos ($>99,9$ cm) classe IV (Leiva et al., 2019) (FIGURA 2).

Figura 2. (A) Recinto de jacarés; (B) Captura com laço; (C) Contenção e imobilização; (D) Equipe nos procedimentos de triagem; (E) Sexagem; (F) Marcação com microchip; (G) Pesagem; (H) Biometria utilizando fita métrica; (I) Biometria utilizando paquímetro.



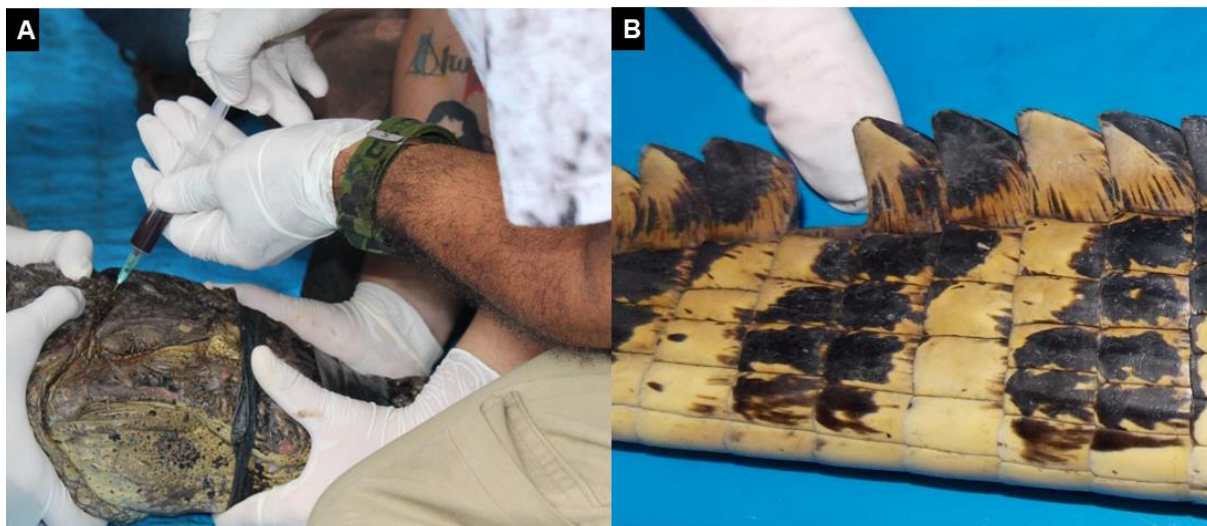
Fonte: Acervo Laboratório Interdisciplinar de Anfíbios e Répteis (LIAR)

2.3 Coleta de amostras biológicas: Sangue e tegumento.

A coleta do sangue foi realizada a partir do acesso à região pós-occipital com seringas hipodérmicas convencionais de calibres variados. Os animais foram posicionados em decúbito esternal seguindo a metodologia proposta por Myburgh (2014). Em seguida, as amostras foram armazenadas imediatamente no freezer para posterior análise dos metais. Para marcação do animal e coleta do tecido foram feitos recortes da terceira escama simples da cauda utilizando bisturi estéril para cada indivíduo (FIGURA 3). Após o recorte aplicou-se uma solução de iodo nos locais de remoção das escamas para evitar possíveis infecções. Posteriormente

essas amostras foram armazenadas em tubos criogênicos refrigeradas até a chegada ao laboratório e mantidas no freezer -20°C até o momento das análises laboratoriais (CHABRECK, 1963).

Figura 3. Amostras utilizadas no presente trabalho. (A) Coleta de sangue; (B) Coleta de escama.



Fonte Acervo Laboratório Interdisciplinar de Anfíbios e Répteis (LIAR).

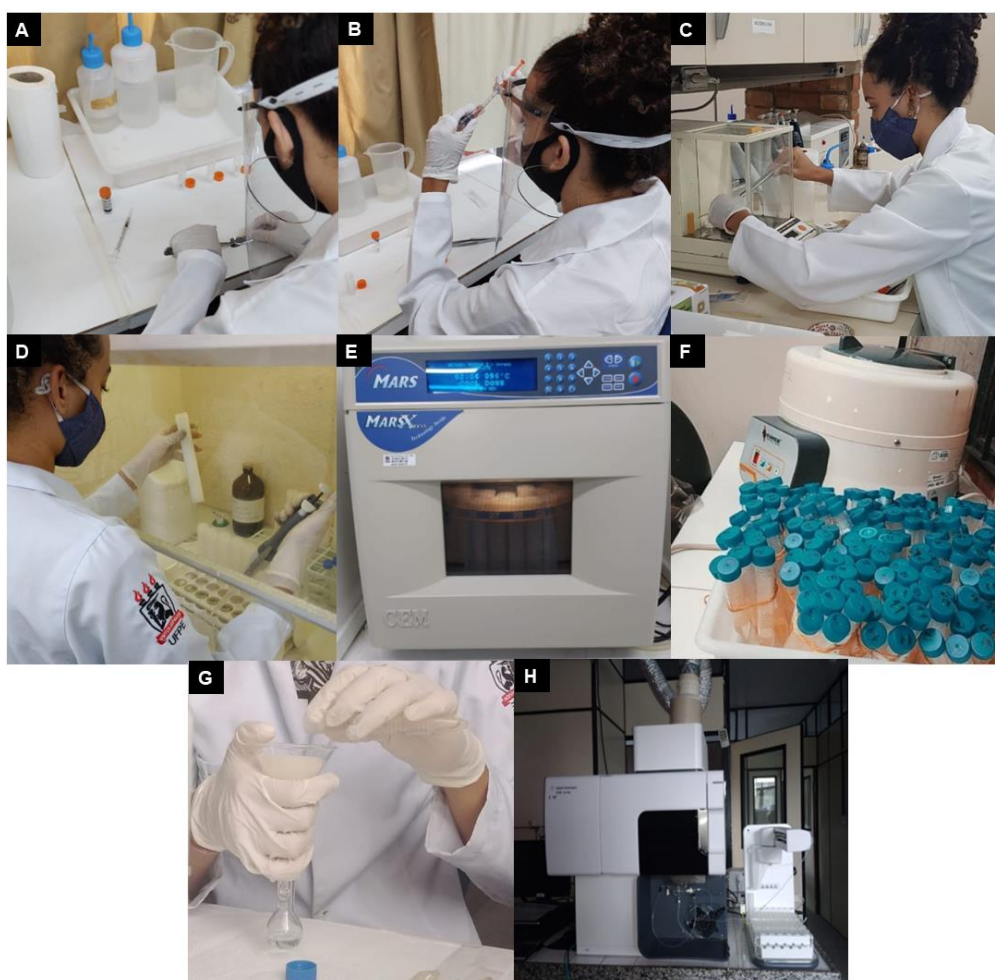
2.4 Preparação das amostras e determinação elementares por ICP-OES.

As amostras de tegumento foram desanexadas (escama, pele e músculo), lavadas com água deionizada para retirada de quaisquer partículas aderidas, divididas em duplicatas e posteriormente pesadas em balança analítica. No caso do sangue, separou-se uma alíquota da amostra, também em duplicata, e a partir disso foram encaminhadas para digestão (FIGURA 4).

A digestão via úmida das amostras foi realizada em duas etapas: Na primeira adicionou-se 2mL de ácido nítrico a 65% (HNO_3) em forno micro-ondas (CEM MARS Xpress) a 400W com 75% de potência, com uma rampa de 10 minutos até atingir a temperatura de 105°C , e mantido por 20 minutos. A segunda etapa ocorreu após o resfriamento, onde foi adicionado 1mL de peróxido de hidrogênio a 35% (H_2O_2) e uma nova submissão térmica, com programa de 5 minutos até atingir 105°C e 10 minutos de aquecimento. Após o resfriamento, as amostras foram transferidas para tubos Falcon™ de 15mL e centrifugadas a uma velocidade de 3000 rpm durante 15 minutos, adaptando a metodologia proposta por LOH et al. (2016). Por fim, as

amostras foram filtradas com papel filtro quantitativo 8 micras para retirada de possíveis sólidos em suspensão e diluídas com água deionizada para um volume final de 10mL (FIGURA 4).

Figura 4. (A) Pesagem das amostras; (B) Separação da alíquota do sangue; (C) Separação das matrizes biológicas (escama, pele e músculo); (D) Adição de ácido nítrico para digestão; (E) Forno micro-ondas; (F) Centrifugação; (G) Filtração e diluição das amostras; (H) Espectrômetro de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES).



Fonte Acervo Laboratório Interdisciplinar de Anfíbios e Répteis (LIAR).

Para a determinação dos elementos analisados foram Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn foram realizadas leituras no Centro de Apoio e Pesquisa (CENAPESQ) localizado na Universidade Federal Rural de Pernambuco utilizando Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES) usando um OES

Optima 7000 DV ICP-OES (Perkin Elmer, EUA). Todas as amostras utilizadas foram com o material em duplicata.

Para cada metal analisado foram obtidos os limites de detecção (LOD) e quantificação (LOQ) respectivamente: Al (0,07-0,2 mg L⁻¹), Cd (0,3-1,0 mg L⁻¹), Cr (5,5-1,8 mg L⁻¹), Cu (0,07, 0,2 mg L⁻¹), Fe (0,2-0,5 mg L⁻¹), Mn (0,3-1,7 mg L⁻¹), Ni (0,3-1,9 mg L⁻¹), Pb (0,3-0,9 mg L⁻¹) e Zn (0,7-2,7 mg L⁻¹).

2.6 Análise estatística dos dados.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2020) utilizando significância de 5% para confirmar as conclusões. Os resultados foram previamente avaliados quanto à abordagem paramétrica ou não paramétrica em seguida avaliar as diferenças entre as medias/medianas das concentrações entre as matrizes biológicas (escama, pele, músculo e sangue), classe etária e sexo. Desta forma, as variáveis envolvidas foram testadas quanto a sua distribuição de homogeneidade e normalidade utilizando os testes de Bartlett e Shapiro Wilk respectivamente. Quando observado o pressuposto de homogeneidade utilizou-se o teste ANOVA com o post-hoc teste de Tukey para avaliar as médias, e quando não, foi utilizado o teste Kruskal-Wallis com o post-hoc teste de Fisher's LSD para avaliar a diferença entre as medianas. Sendo observado os pressupostos de normalidade aplicou-se o teste T-Student na comparação entre médias e observando-se a violação do pressuposto de normalidade, aplicou-se o teste de Mann-Whitney analisando suas medianas.

5. RESULTADOS

Foram coletadas amostras de 53 indivíduos para a análise dos dados, dentre eles 20 fêmeas com CRC médio de 62,7 cm (mín: 50,8 - máx: 75,0) e peso médio de 7828g (mín: 3780g - máx: 12900g) e 33 machos com CRC médio 70,7 cm (mín: 29,4 - máx: 150) e peso médio equivalente a 14754g (mín: 560g - máx: 52600g). Os animais enquadraram-se nas seguintes faixas de idade: Subadultos (Classe II; n = 30) e Adultos (Classe III/IV; n = 23). Os subadultos apresentaram o CRC e peso médio de 53,41 cm e 5505g, respectivamente, para os indivíduos adultos foram observados CRC e peso médio de 86,23 cm e 16500g respectivamente. No total, foram analisadas 380 amostras de escama (n = 106), pele (n = 104), músculo (n =

66) e sangue (n = 106) para detecção e quantificação de Al, Cd, Cr, Cu Fe, Mg, Ni, Pb e Zn.

Os nove elementos foram detectados em todas as matrizes analisadas (escama, pele, músculo e sangue). De forma geral o Al, Fe e Zn apresentaram as maiores concentrações em relação aos outros elementos para todas as matrizes biológicas. Ao avaliar as variáveis matrizes biológicas observou-se que o sangue apresentou os níveis médios mais altos de metais (Fe > Zn > Al > Cu > Mn > Cr > Pb > Cd > Ni) ($p < 0,0001$), seguido da escama (Zn > Al > Fe > Cu > Mn > Cr > Pb > Cd > Ni) ($p < 0,0001$), músculo (Zn > Al > Fe > Cu > Mn > Cr > Pb > Cd > Ni) ($p > 0,05$) e pele (Zn > Al > Fe > Cu > Mn > Cr > Cd > Ni > Pb) ($p > 0,05$) (TABELA 1 e FIGURA 5).

Ao relacionar as concentrações dos elementos com as matrizes biológicas observaram-se diferença significativa na matriz escama que apresentou as maiores concentrações de Al $0,320 \pm 0,190 \text{ mg L}^{-1}$ e Zn $0,430 \pm 0,180 \text{ mg L}^{-1}$ em relação a matriz pele, músculo e sangue ($p < 0,0001$). Também ocorreu diferença significativa na matriz sangue apenas para o elemento ferro Fe $2,630 \pm 1,170 \text{ mg L}^{-1}$ que apresentou as maiores concentrações em relação as outras matrizes ($p < 0,0001$) (TABELA 1 e FIGURA 6).

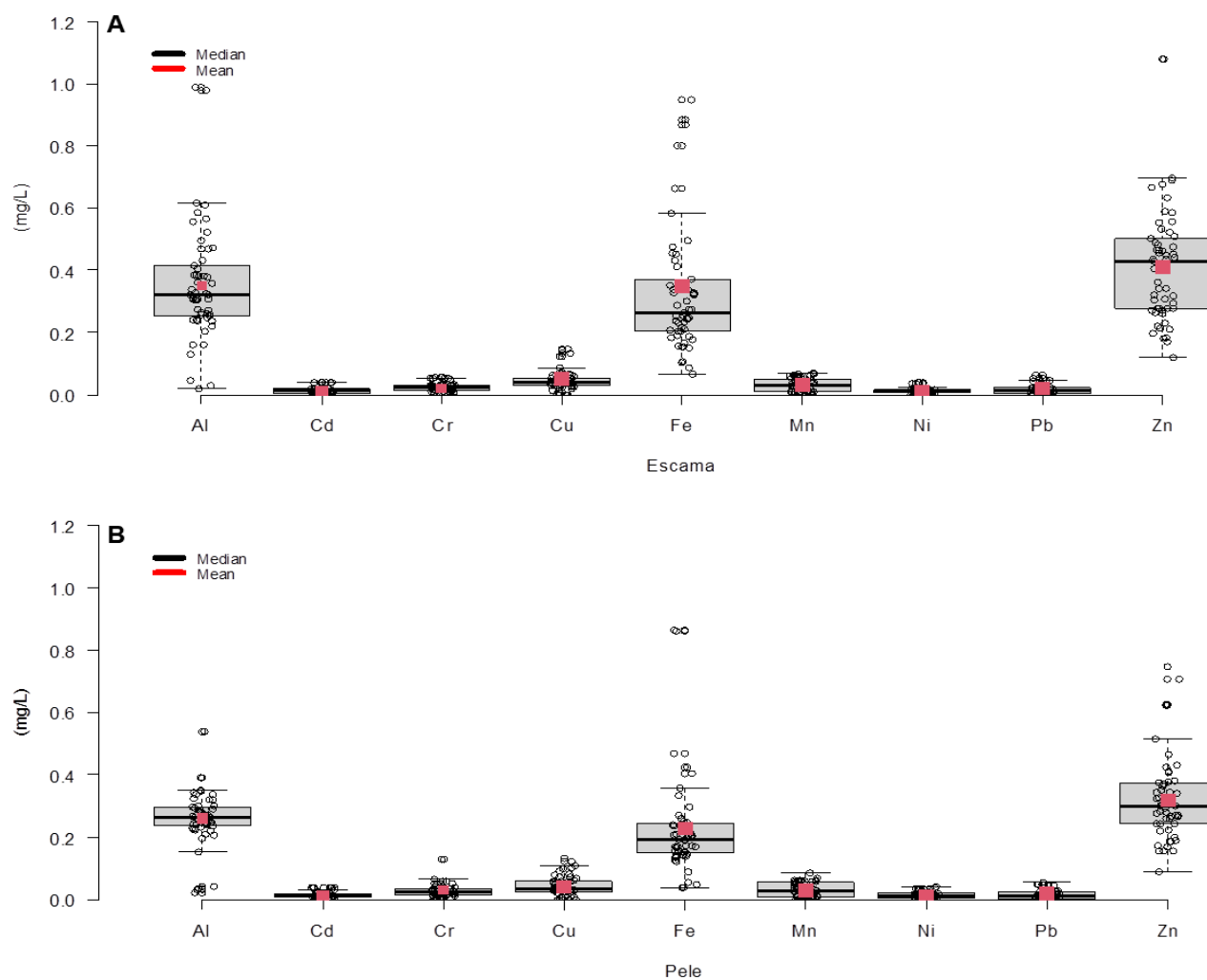
Tabela 1. Concentrações Al, Cd, Cr, Cu Fe, Mg, Ni, Pb e Zn nas matrizes biológicas (escama, pele, músculo e sangue) de *Caiman latirostris* na Região Metropolitana de Recife. Destaque para os elementos em que houve diferença estatisticamente significativa ($p < 0.0005$).

Matriz Biológica	Nº amostras	Min (mg L ⁻¹)	Max (mg L ⁻¹)	Média (mg L ⁻¹)	Mediana (mg L ⁻¹)	Desvio (mg L ⁻¹)	EP (mg L ⁻¹)	Valor de P
Al								
Escama	106	0,018	0,990	0,350	0,320	0,190	0,030	< 0,0001*
Pele	104	0,012	0,729	0,250	0,270	0,130	0,020	
Músculo	64	0,021	0,538	0,260	0,260	0,090	0,010	
Sangue	106	0,031	1,785	0,270	0,240	0,230	0,030	
Cd								
Escama	106	0,000	0,040	0,010	0,010	0,010	0,000	0,8390
Pele	104	0,000	0,041	0,010	0,010	0,010	0,000	
Músculo	64	0,000	0,040	0,010	0,010	0,010	0,000	
Sangue	106	0,000	0,040	0,010	0,010	0,010	0,000	
Cr								
Escama	106	0,000	0,056	0,020	0,020	0,010	0,000	0,6779

Pele	104	0,000	0,075	0,020	0,020	0,020	0,000	
Músculo	64	0,000	0,130	0,030	0,020	0,020	0,000	
Sangue	106	0,000	0,057	0,020	0,030	0,010	0,000	
Cu								
Escama	106	0,000	0,146	0,050	0,040	0,030	0,000	
Pele	104	0,000	0,135	0,040	0,030	0,030	0,010	0,5940
Músculo	64	0,000	0,133	0,040	0,030	0,030	0,000	
Sangue	106	0,000	0,213	0,050	0,040	0,040	0,010	
Fe								
Escama	106	0,065	1,855	0,350	0,260	0,290	0,040	
Pele	104	0,029	0,649	0,200	0,170	0,130	0,020	< 0,0001*
Músculo	64	0,040	0,864	0,230	0,190	0,160	0,020	
Sangue	106	0,115	4,867	2,740	2,630	1,170	0,160	
Mn								
Escama	106	0,000	0,068	0,030	0,030	0,020	0,000	
Pele	104	0,000	0,073	0,030	0,040	0,020	0,000	0,7840
Músculo	64	0,000	0,086	0,030	0,030	0,020	0,000	
Sangue	106	0,000	0,080	0,030	0,030	0,020	0,000	
Ni								
Escama	106	0,000	0,039	0,010	0,010	0,010	0,000	
Pele	104	0,000	0,040	0,010	0,010	0,010	0,000	0,8160
Músculo	64	0,000	0,043	0,010	0,010	0,010	0,000	
Sangue	106	0,000	0,042	0,010	0,010	0,010	0,000	
Pb								
Escama	106	0,000	0,061	0,020	0,010	0,020	0,000	
Pele	104	0,000	0,050	0,010	0,010	0,020	0,000	0,9840
Músculo	64	0,000	0,055	0,020	0,010	0,020	0,000	
Sangue	106	0,000	0,049	0,020	0,010	0,010	0,000	
Zn								
Escama	106	0,119	1,079	0,410	0,430	0,180	0,020	
Pele	104	0,099	0,556	0,300	0,280	0,130	0,020	< 0,0001*
Músculo	64	0,089	0,747	0,320	0,300	0,140	0,020	
Sangue	106	0,101	0,632	0,270	0,260	0,110	0,020	

Anova post hoc teste de Tukey / *Kruskal-Wallis post hoc teste de Fisher's LSD

Figura 5. Concentrações médias dos elementos detectados alumínio (Al), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn) para amostras de escama (A), pele (B) músculo (C) e sangue (D) de *Caiman latirostris* capturados na Região Metropolitana do Recife, Pernambuco, Brasil.



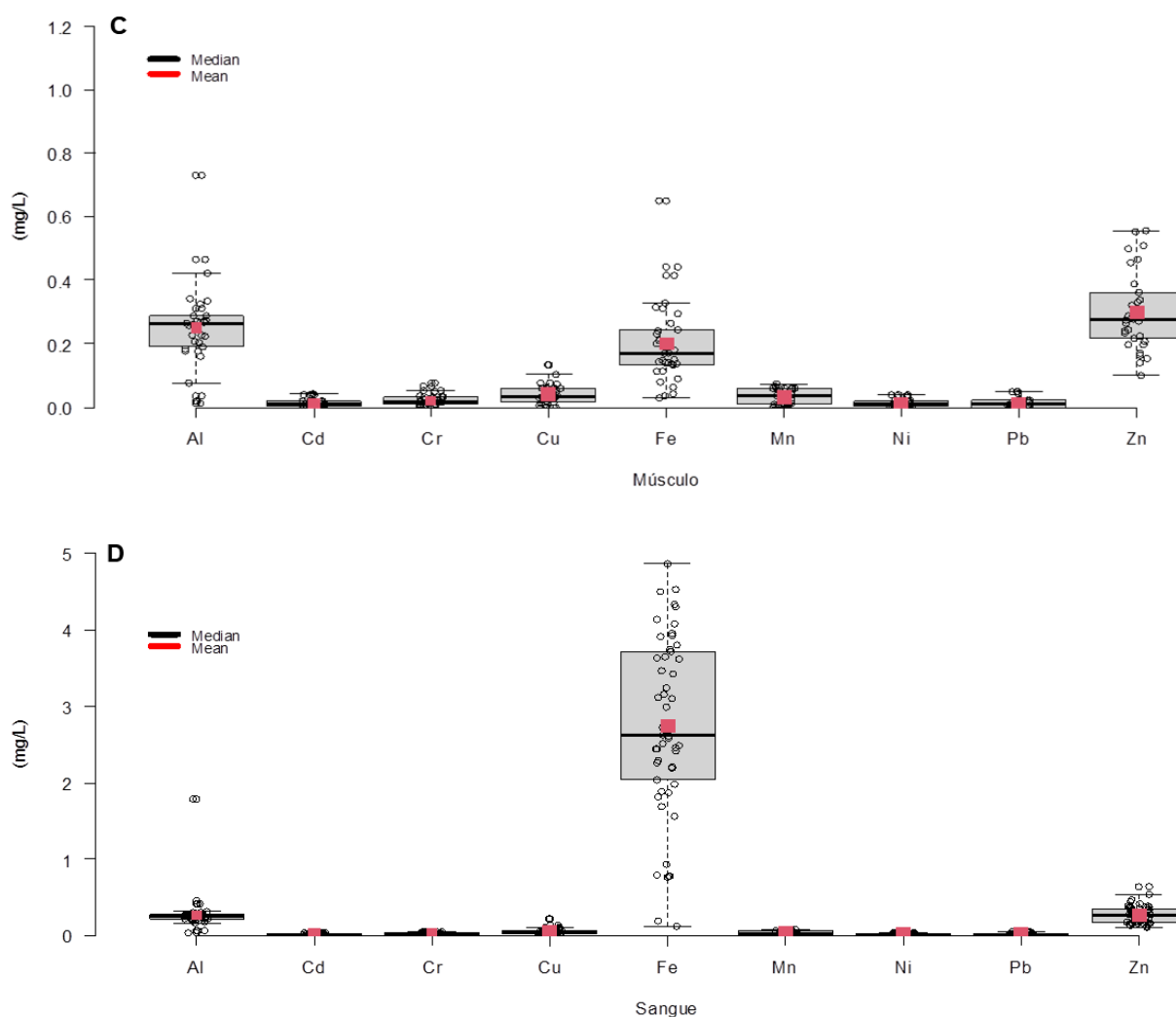
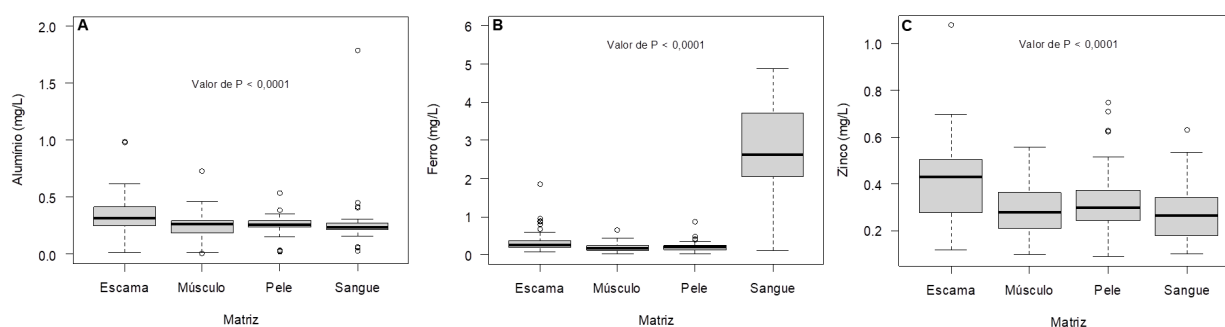


Figura 6. Concentrações nas matrizes de *Caiman latirostris* capturados na Região Metropolitana do Recife – Pernambuco. Onde o Al e o Zn apresentaram maiores as maiores concentrações para a matriz escama ($p < 0,0001$) e o Fe na matriz sangue ($p < 0,0001$).



No Brasil são estabelecidos limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos através visando proteger a saúde humana. Os resultados desse trabalho mostraram que apenas o elemento ferro apresentou valores acima da média especificada para todas as matrizes analisadas, enquanto todos os outros elementos permaneceram dentro ou abaixo da faixa permitida pela Instrução Normativa - IN N° 88, de 26 de março de 2021, Organização Mundial de Saúde (WHO) e a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) (TABELA 2).

Tabela 2. Limites máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos segundo as legislações nacionais e internacionais para alumínio (Al), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn).

Elemento	Instrução normativa	WHO/FAO	Este trabalho			
	n° 88 de 2021	(2000; 2003)	Escama	Pele	Músculo	Sangue
Al	-	1,000 ^b	0,350	0,260	0,250	0,270
Cd	0,050 ^a	0,050 ^b	0,010	0,010	0,010	0,010
Cr	-	0,030 ^b	0,020	0,030	0,020	0,020
Cu	-	3,500 a 245,000 ^c	0,050	0,040	0,040	0,050
Fe	-	0,180 ^b	0,350	0,230	0,200	2,740
Mn	-	0,980 a 68,600 ^c	0,030	0,030	0,030	0,030
Ni	-	0,055 ^b	0,010	0,010	0,010	0,010
Pb	0,300 ^a	0,200 ^b	0,020	0,020	0,010	0,020
Zn	-	3,500 a 245,000 ^c	0,410	0,320	0,300	0,270

^a Considerando a categoria para peixes crus, congelados ou refrigerados.

^b /peso corporal considerando a categoria pescado da WHO/FAO.

^c pessoa/semana considerando a categoria pescado da WHO/FAO.

"-" limites não informados no documento.

* unidade em mg L⁻¹

Fonte: Instrução Normativa (2021), WHO/FAO (2000;2003); Santos et al. (2021).

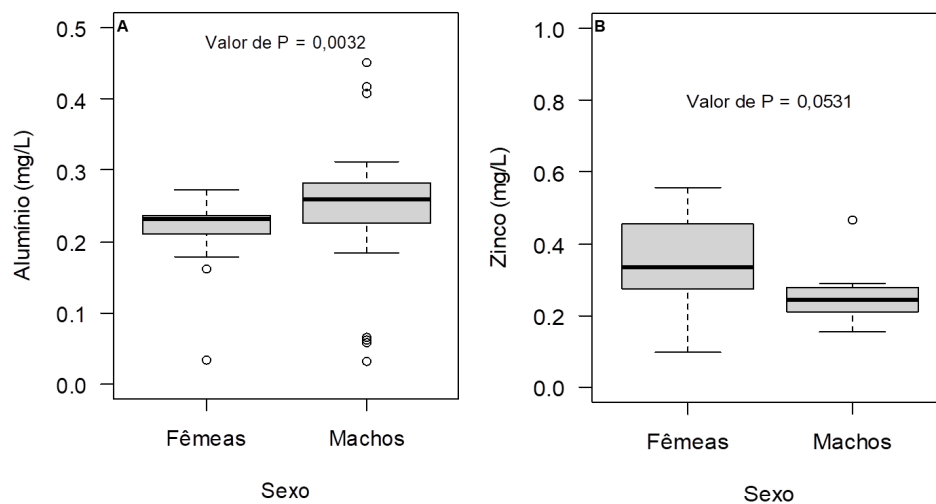
Foram observadas diferenças significativas entre os sexos, onde os machos apresentaram maiores concentrações em comparação com as fêmeas para os elementos Al na matriz sangue (machos $0,260 \pm 0,280$ mg L⁻¹; fêmeas $0,230 \pm 0,050$ mg L⁻¹ p = 0,0032) e para Zn na matriz músculo onde as fêmeas apresentaram

Fêmeas	19	0,000	0,051	0,020	0,020	0,010	0,000	0,2257
Machos	32	0,003	0,130	0,030	0,030	0,020	0,000	
Músculo								
Fêmeas	17	0,000	0,053	0,020	0,020	0,010	0,000	0,3445
Machos	16	0,004	0,075	0,030	0,020	0,020	0,000	
Sangue								
Fêmeas	20	0,000	0,051	0,020	0,020	0,010	0,000	0,1407
Machos	33	0,007	0,057	0,030	0,030	0,010	0,000	
Cu								
Escama								
Fêmeas	20	0,000	0,146	0,040	0,040	0,030	0,010	0,8472
Machos	33	0,000	0,144	0,050	0,040	0,030	0,010	
Pele								
Fêmeas	19	0,000	0,123	0,040	0,040	0,030	0,010	0,6895
Machos	32	0,000	0,133	0,040	0,030	0,030	0,010	
Músculo								
Fêmeas	17	0,000	0,075	0,040	0,040	0,020	0,000	0,5516
Machos	16	0,000	0,135	0,040	0,030	0,040	0,010	
Sangue								
Fêmeas	20	0,000	0,111	0,050	0,040	0,030	0,010	0,8543
Machos	33	0,000	0,213	0,050	0,040	0,040	0,010	
Fe								
Escama								
Fêmeas	20	0,065	0,476	0,260	0,250	0,110	0,020	0,1791
Machos	33	0,086	1,855	0,410	0,300	0,350	0,060	
Pele								
Fêmeas	19	0,049	0,860	0,230	0,170	0,180	0,040	0,4686
Machos	32	0,040	0,864	0,220	0,210	0,150	0,030	
Músculo								
Fêmeas	17	0,036	0,441	0,180	0,140	0,100	0,020	0,5102
Machos	16	0,029	0,649	0,220	0,180	0,150	0,040	
Sangue								
Fêmeas	20	0,185	4,505	2,820	3,050	1,080	0,240	0,6692*
Machos	33	0,115	4,867	2,680	2,610	1,240	0,220	
Mn								
Escama								
Fêmeas	20	0,000	0,059	0,020	0,020	0,020	0,000	0,1253
Machos	33	0,000	0,068	0,030	0,030	0,020	0,000	
Pele								
Fêmeas	19	0,000	0,060	0,030	0,030	0,020	0,000	0,1577
Machos	32	0,000	0,086	0,040	0,030	0,020	0,000	
Músculo								
Fêmeas	17	0,000	0,066	0,030	0,010	0,020	0,000	0,1348

Machos	16	0,000	0,073	0,040	0,050	0,020	0,000	
Sangue								
Fêmeas	20	0,000	0,065	0,020	0,020	0,020	0,000	0,1709
Machos	33	0,000	0,080	0,030	0,030	0,020	0,000	
Ni								
Escama								
Fêmeas	20	0,000	0,038	0,010	0,010	0,010	0,000	0,5751
Machos	33	0,000	0,039	0,010	0,010	0,010	0,000	
Pele								
Fêmeas	19	0,000	0,036	0,010	0,010	0,010	0,000	0,0743
Machos	32	0,000	0,043	0,020	0,010	0,010	0,000	
Músculo								
Fêmeas	17	0,000	0,040	0,010	0,010	0,010	0,000	0,4041
Machos	16	0,000	0,038	0,020	0,010	0,010	0,000	
Sangue								
Fêmeas	20	0,000	0,040	0,010	0,010	0,010	0,000	0,1823
Machos	33	0,000	0,042	0,010	0,010	0,010	0,000	
Pb								
Escama								
Fêmeas	20	0,000	0,043	0,010	0,010	0,010	0,000	0,6191
Machos	33	0,000	0,061	0,020	0,010	0,020	0,000	
Pele								
Fêmeas	19	0,000	0,045	0,010	0,010	0,010	0,000	0,2371
Machos	32	0,000	0,055	0,020	0,020	0,020	0,000	
Músculo								
Fêmeas	17	0,000	0,048	0,010	0,010	0,010	0,000	0,6464
Machos	16	0,000	0,050	0,020	0,010	0,020	0,000	
Sangue								
Fêmeas	20	0,000	0,041	0,010	0,010	0,010	0,000	0,4403
Machos	33	0,000	0,049	0,020	0,010	0,020	0,000	
Zn								
Escama								
Fêmeas	20	0,119	0,697	0,370	0,350	0,150	0,030	0,239
Machos	33	0,183	1,079	0,430	0,440	0,190	0,030	
Pele								
Fêmeas	19	0,188	0,627	0,350	0,340	0,110	0,030	0,0682
Machos	32	0,089	0,747	0,310	0,270	0,150	0,030	
Músculo								
Fêmeas	17	0,099	0,556	0,340	0,330	0,140	0,030	0,0531
Machos	16	0,152	0,467	0,260	0,240	0,090	0,020	
Sangue								
Fêmeas	20	0,101	0,536	0,260	0,270	0,120	0,030	0,6824
Machos	33	0,139	0,632	0,280	0,260	0,110	0,020	

Teste Mann-Whitney / *Teste T-Student

Figura 7. Concentrações de Al e Zn em escama e músculo (respectivamente) de fêmeas e machos de *Caiman latirostris* capturados na Região Metropolitana do Recife – Pernambuco, com machos apresentando as maiores concentrações (Al: $p = 0,0032$ e Zn: $p = 0,0531$).



Observou-se diferenças significativamente estatísticas também para a variável classe etária, onde os adultos apresentaram as maiores concentrações em relação aos subadultos para os elementos Al (subadultos $0,260 \pm 0,120 \text{ mg L}^{-1}$; adultos $0,380 \pm 0,220 \text{ mg L}^{-1}$ $p = 0,0008$), Fe (subadultos $0,230 \pm 0,330 \text{ mg L}^{-1}$; adultos $0,340 \pm 0,220 \text{ mg L}^{-1}$ $p = 0,0127$) e Zn (subadultos $0,310 \pm 0,150 \text{ mg L}^{-1}$; adultos $0,470 \pm 0,190 \text{ mg L}^{-1}$ $p = 0,0108$) na matriz escama (TABELA 5 e FIGURA 8).

II	18	0,000	0,066	0,020	0,020	0,020	0,000	0,5557
III/IV	15	0,004	0,075	0,030	0,020	0,020	0,010	
Sangue								
II	30	0,000	0,057	0,020	0,020	0,010	0,000	0,1808*
III/IV	23	0,007	0,056	0,030	0,030	0,010	0,000	
Cu								
Escama								
II	30	0,000	0,146	0,040	0,040	0,030	0,010	0,2256
III/IV	23	0,000	0,132	0,050	0,050	0,030	0,010	
Pele								
II	28	0,000	0,133	0,050	0,040	0,040	0,010	0,4098
III/IV	23	0,000	0,108	0,040	0,030	0,030	0,010	
Músculo								
II	18	0,000	0,075	0,030	0,030	0,020	0,000	0,4184
III/IV	15	0,000	0,135	0,040	0,030	0,040	0,010	
Sangue								
II	30	0,000	0,140	0,050	0,040	0,030	0,010	0,5901
III/IV	23	0,000	0,213	0,060	0,050	0,050	0,010	
Fe								
Escama								
II	30	0,065	1,855	0,320	0,230	0,330	0,060	0,0127
III/IV	23	0,086	0,887	0,400	0,340	0,220	0,050	
Pele								
II	28	0,049	0,860	0,230	0,190	0,160	0,030	0,4811
III/IV	23	0,040	0,864	0,220	0,190	0,170	0,040	
Músculo								
II	18	0,036	0,441	0,180	0,140	0,100	0,020	0,3292
III/IV	15	0,029	0,649	0,220	0,170	0,160	0,040	
Sangue								
II	30	0,185	4,525	2,730	2,850	1,120	0,200	0,9517*
III/IV	23	0,115	4,867	2,750	2,490	1,270	0,260	
Mn								
Escama								
II	30	0,000	0,062	0,030	0,030	0,020	0,000	0,0740
III/IV	23	0,000	0,068	0,040	0,030	0,020	0,000	
Pele								
II	28	0,000	0,086	0,030	0,030	0,020	0,000	0,5259
III/IV	23	0,000	0,069	0,030	0,030	0,020	0,000	
Músculo								
II	18	0,000	0,073	0,030	0,040	0,030	0,010	0,8993
III/IV	15	0,000	0,061	0,030	0,030	0,020	0,010	
Sangue								
II	30	0,000	0,080	0,030	0,030	0,020	0,000	0,2689*
III/IV	23	0,000	0,066	0,030	0,030	0,020	0,000	

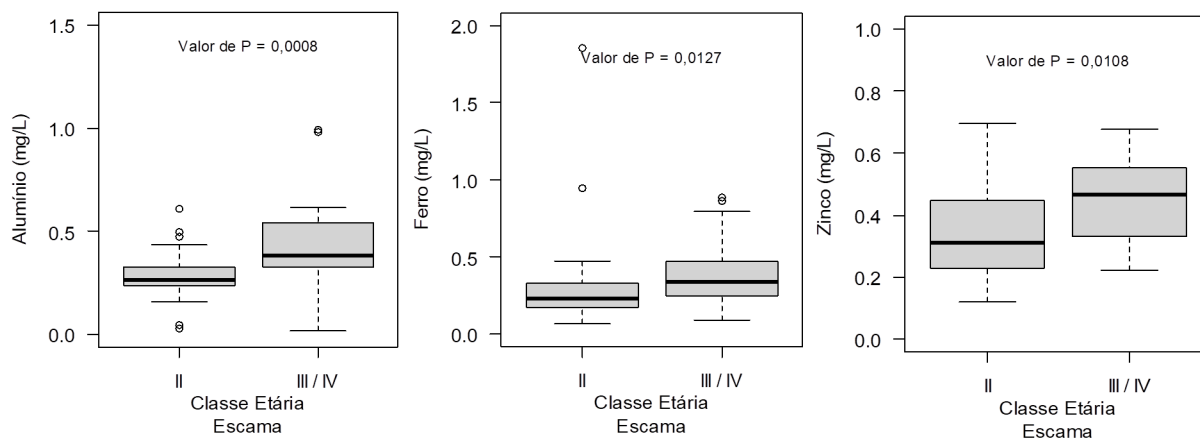
Ni								
Escama								
II	30	0,000	0,039	0,010	0,010	0,010	0,000	0,2889
III/IV	23	0,000	0,039	0,010	0,010	0,010	0,000	
Pele								
II	28	0,000	0,043	0,010	0,010	0,010	0,000	0,2515
III/IV	23	0,000	0,040	0,020	0,010	0,010	0,000	
Músculo								
II	18	0,000	0,040	0,010	0,010	0,010	0,000	0,7988
III/IV	15	0,000	0,037	0,010	0,010	0,010	0,000	
Sangue								
II	30	0,000	0,042	0,010	0,010	0,010	0,000	0,3636
III/IV	23	0,000	0,040	0,010	0,010	0,010	0,000	

Pb								
Escama								
II	30	0,000	0,044	0,010	0,010	0,010	0,000	0,1827
III/IV	23	0,000	0,061	0,020	0,020	0,020	0,000	
Pele								
II	28	0,000	0,048	0,010	0,010	0,010	0,000	0,3982
III/IV	23	0,000	0,055	0,020	0,010	0,020	0,000	
Músculo								
II	18	0,000	0,050	0,010	0,000	0,020	0,000	0,2772
III/IV	15	0,000	0,048	0,020	0,010	0,020	0,010	
Sangue								
II	30	0,000	0,049	0,010	0,010	0,010	0,000	0,1222
III/IV	23	0,000	0,048	0,020	0,020	0,020	0,000	

Zn								
Escama								
II	30	0,119	0,697	0,350	0,310	0,150	0,030	0,0108
III/IV	23	0,222	1,079	0,480	0,470	0,190	0,040	
Pele								
II	28	0,156	0,708	0,330	0,320	0,140	0,030	0,4466
III/IV	23	0,089	0,747	0,310	0,290	0,140	0,030	
Músculo								
II	18	0,099	0,556	0,310	0,290	0,130	0,030	0,6556
III/IV	15	0,163	0,554	0,300	0,260	0,110	0,030	
Sangue								
II	30	0,101	0,470	0,260	0,260	0,100	0,020	0,4597
III/IV	23	0,139	0,632	0,290	0,280	0,130	0,030	

Teste Mann-Whitney / *Teste T-Student

Figura 8. Concentrações de Al, Fe e Zn em escamas de jacarés subadultos (classe II) e adultos (classes III/IV) capturados na Região Metropolitana do Recife – Pernambuco, com maiores níveis em indivíduos adultos (Al: $P = 0,0008$, Fe: $P = 0,0127$ e Zn: $P = 0,0108$).



6. DISCUSSÃO

6.1 Concentrações de metais nas **matrizes biológicas** avaliadas

De modo geral Al, Fe e Zn foram os elementos que apresentaram as maiores concentrações médias para todas as matrizes biológicas: Escama Zn $0,410 \pm 0,180 \text{ mg L}^{-1}$ > Al $0,350 \pm 0,190 \text{ mg L}^{-1}$ > Fe $0,350 \pm 0,290 \text{ mg L}^{-1}$; Pele Zn $0,300 \pm 0,130 \text{ mg L}^{-1}$ > Al $0,250 \pm 0,130 \text{ mg L}^{-1}$ > Fe $0,200 \pm 0,130 \text{ mg L}^{-1}$; Músculo Zn $0,320 \pm 0,140 \text{ mg L}^{-1}$ > Al $0,260 \pm 0,090 \text{ mg L}^{-1}$ > Fe $0,230 \pm 0,160 \text{ mg L}^{-1}$ e para o Sangue Fe $2,740 \pm 1,170 \text{ mg L}^{-1}$ > Zn $0,270 \pm 0,110 \text{ mg L}^{-1}$ > Al $0,270 \pm 0,230 \text{ mg L}^{-1}$.

De acordo com a bibliografia, os tecidos queratinizados refletem uma exposição a longo prazo (crônica), por outro lado o sangue reflete uma exposição aguda (recente) (GRILLITSCH e SCHIESARI, 2010; BUENFIL-ROJAS et al., 2020). Além disso, pode-se entender que após os elementos bioacumularem no indivíduo os tecidos epidérmicos podem atuar como uma estratégia de desintoxicação (XU et al., 2006; NILSEN et al., 2017).

Ao avaliar a matriz muscular, foram constatadas concentrações baixas para todos elementos em comparação às outras matrizes, porém o ferro ficou acima dos limites máximos tolerados. No entanto, é crucial ressaltar a importância desse resultado para a saúde pública, uma vez que essa matriz é consumida pelos seres humanos. A de jacaré é amplamente consumida em áreas onde comunidades

ribeirinhas estão localizadas. Estas populações se alimentam da carne de peixe e caças de forma geral e há locais em que esta prática além de cultural constituem parte da sua base econômica e alimentar (CHAGAS, 2017). O uso de jacarés como fonte de alimento, principalmente por comunidades tradicionais é comum na Amazônia, e casos de contaminação e intoxicação por ingestão de mercúrio e suas formas organometálicas (metilmercúrio) são passíveis de acontecer dependendo da quantidade e frequência de ingestão (VIEIRA et al., 2011). Diante desta realidade, justifica-se utilizar esses animais na quantificação de contaminantes (KHAN e TANSEL, 2000; SCHNEIDER et al., 2012).

O elemento Zn apresentou as maiores concentrações médias ($0,410 \pm 0,180$ mg L⁻¹) para a matriz escama, além de apresentar diferenças significativas para a mesma (mediana $0,430 \pm 0,180$ mg L⁻¹ $p < 0,0001$) no nosso trabalho. Avaliando o *Alligator mississippiensis* na Flórida, Nilsen et al. (2017) também observaram diferenças significativas para a matriz escama onde o Zn foi o elemento com as maiores concentrações ($0,005$ mg L⁻¹) muito inferiores às encontradas neste trabalho. As concentrações de Zn podem ser motivadas principalmente pela dieta a partir de alimentos que já estejam contaminados acarretando no processo de biomagnificação (NILSEN et al., 2019).

O Zn possui função no desenvolvimento e crescimento do indivíduo, além disso, é micronutriente importante para a formação dos tecidos quetarinizados (IBS e RINK, 2003; SOUZA et al., 2018). Porém em altas concentrações pode causar anorexia e perda de peso nos crocodilianos (COOK et al., 1989). Já nos seres humanos o excesso do Zn pode prejudicar a função imune comprometendo os monócitos e reduzindo a fagocitose além de causar problemas pulmonares (ROCHA et al., 1985; IBS e RINK, 2003). As principais fontes antrópicas desse elemento são fármacos, cosméticos, plásticos, tintas entre outros (FURQUIM, 2017; SOUZA et al., 2018; WEN et al., 2023).

O Al foi o segundo elemento que apresentou as maiores concentrações médias $0,350 \pm 0,190$ mg L⁻¹ para a matriz escama. Esse elemento também apresentou diferenças significativas para a matriz escama (medianas $0,320 \pm 0,190$ mg L⁻¹ $p < 0,0001$). Assim como no trabalho de Nilsen et al. (2017), o qual avaliaram os tecidos do *Alligator mississippiensis* na Flórida e observaram diferenças significativas na matriz escama para o Al. Esse elemento também foi o segundo a

apresentar as maiores concentrações (0,002 mg), porém suas concentrações foram menores que as encontradas para o mesmo elemento neste trabalho.

O Al é considerado um metal não essencial sem função fundamental conhecida nos organismos. Existe uma escassez na literatura sobre os efeitos desse elemento nos crocodilianos (SANTOS et al., 2021, NILSEN et al., 2017; 2019). Porém nos seres humanos altas concentrações desse elemento podem causar alterações no funcionamento cognitivo e neurológico como: Confusão mental, depressão e redução da percepção temporal (YOKEL e MCNAMARA, 2001; CAMPBELL, 2002). As possíveis fontes antrópicas desse elemento estão relacionadas com o lixiviamento das rochas e do descarte errôneo de latas, utensílios de cozinha e embalagens (CARDOSO et al., 2011).

O elemento Fe apresentou diferenças estatísticas para a matriz sangue ($p < 0,0001$) e suas concentrações foram $2,630 \pm 1,170 \text{ mg L}^{-1}$. Santos et al. (2021) analisando contaminantes de *C. latirostris* da Estação Ecológica de Tapacurá, encontrou níveis muito elevados para o Fe $94,670 \text{ mg L}^{-1}$, sendo muito superiores ao encontrado no nosso trabalho. Embora seja um micronutriente que está presente naturalmente nas proteínas Fe-heme dos organismos, ainda não há documentação na literatura da faixa típica desse elemento nos crocodilianos (FRAGA e OTEIZA, 2002). Sendo assim, pode acabar ocorrendo sobreposições sobre o que são concentrações baixas, normais e altas de Fe para o sangue (SANTOS et al., 2021).

O Fe é um elemento essencial que está diretamente ligado com o metabolismo energético, transporte de oxigênio e síntese de DNA e hormônios (BIRUNGI et al., 2007; GROTO, 2008). Nos crocodilianos o acúmulo do ferro pode causar a fibrose hepática que é (PIRAS et al., 2022). Já nos seres humanos, o excesso desse metal causa doenças neurodegenerativa como a Alzheimer e Parkinson (WESSLING-RESNICK, 2017). As principais fontes antrópicas desse elemento são através do processo de mineração, soldagem, uso de fertilizantes, aerossóis entre outros (SHARMA et al. 2000; SOUZA et al., 2018; GHOLAMHOSSEIN et al., 2021).

Os dados deste estudo são insuficientes para identificar a fonte de poluição, porém, diante do impacto causado pelas atividades humanas, os ecossistemas aquáticos acabam se tornando o destino final de contaminantes químicos (ROCHA, 2009). Os rios escoam por diversas partes dos centros urbanos e rurais, sendo receptor de variados resíduos clandestinos domésticos, hospitalares, industriais,

atividades agrícolas e agropecuárias, isso ocorre devido a deficiência do saneamento e da fiscalização (ATLI e CANLI, 2007). Além disso, os contaminantes químicos podem percorrer longos trajetos, alcançando áreas distantes de onde foram descartados originalmente (SILVA, 2019). Sendo assim, as concentrações mais elevadas de Al, Fe e Zn podem estar relacionadas principalmente a descarga incorreta de materiais e rejeitos que contenham esses metais.

Levando em consideração os valores estabelecidos por órgãos ambientais (WHO/FAO (2000, 2003), as concentrações detectadas neste trabalho não ultrapassaram os limites estipulados exceto para o ferro, que apresentou teores elevados principalmente para matriz sangue. Devido à falta de avaliação específica de limites mínimos e máximos em carne de jacaré, as comparações médias são realizadas com outras amostras de pescado ou peixes disponibilizados pelos órgãos.

6.2 Concentrações de metais e **sexo**

Como apontado nos resultados, apenas o Al e o Zn apresentaram diferenças significativas para a variável sexo no sangue ($p = 0,0032$) e no músculo ($p = 0,0531$) respectivamente. Para o Al os machos ($0,260 \pm 0,280 \text{ mg L}^{-1}$) apresentaram valores medianos maiores que as fêmeas ($0,230 \pm 0,050 \text{ mg L}^{-1}$). Para o Zn, as fêmeas ($0,330 \pm 0,140 \text{ mg L}^{-1}$) apresentaram os maiores valores medianos em relação aos machos ($0,240 \pm 0,090 \text{ mg L}^{-1}$).

Gholamhosseini et al., (2021) também observaram diferenças significativas para o sexo quando analisaram o soro sanguíneo do *Crocodylus palustres* (crocodilo-persa) no condado de Chabahar (Província de Sistan e Baluquistão), Irã. No trabalho citado, os machos também apresentaram maiores concentrações que as fêmeas para o Fe e Pb. Maiores concentrações em indivíduos machos podem ser explicados pelo fato de que eles percorrem maiores distâncias e atingem maiores tamanhos, permitindo que entrem em contato com uma maior variedade de áreas contaminadas e presas maiores, ao contrário das fêmeas que se movem em uma área menor, o que fundamenta os nossos resultados (JOANEN e MCNEASE, 1972; MOORE et al., 2022). Além disso, durante a temporada de nidificação e oviposição, ocorre transferência de elementos das fêmeas para os ovos (DELANY et al., 1988; JEFFREE et al., 2001; XU et al., 2006; LEMAIRE et al., 2021).

Em 2019, Cirilo (2019) analisou efeito de contaminantes em *Caiman latirostris* no Parque Estadual de Dois Irmãos em Recife, Pernambuco, Brasil e também

observou diferença significativa no sexo ($p = 0,0092$) para o elemento Fe onde as maiores concentrações estavam presentes nas fêmeas. Em contrapartida, Buenfil-Rojas et al. (2022) analisando os jacarés americanos (*Alligator mississippiensis*) e Santos et al. (2021) analisando o *C. latirostris* capturados na Estação Ecológica Tapacurá, PE, Brasil não observaram diferenças nas concentrações de metais entre machos e fêmeas.

6.3 Concentrações de metais e **classe etária**

Conforme apontado nos resultados, quando correlacionado a classe etária observaram-se diferenças estatísticas para três elementos: Al na matriz escama (subadultos $0,260 \pm 0,120 \text{ mg L}^{-1}$; adultos $0,380 \pm 0,220 \text{ mg L}^{-1}$ $p = 0,0008$), Fe na matriz escama (subadultos $0,230 \pm 0,330 \text{ mg L}^{-1}$; adultos $0,340 \pm 0,220 \text{ mg L}^{-1}$ $p = 0,0127$) e Zn na matriz escama (subadultos $0,310 \pm 0,150 \text{ mg L}^{-1}$; adultos $0,470 \pm 0,190 \text{ mg L}^{-1}$ $p = 0,0108$).

Santos et al. (2021) analisaram sangue do *C. latirostris* no Reservatório do Tapacurá e observaram diferenças entre as classes etárias apenas para o Al e o Cr. Apenas o Cr exibiu resultados parecidos com os nossos, onde para este elemento os animais adultos apresentaram concentrações mais elevadas ($0,50 \pm 0,93 \text{ mg L}^{-1}$) em relação aos subadultos ($0,01 \pm 0,35 \text{ mg L}^{-1}$). Semelhantemente, Buenfil-Rojas et al. (2015) ao analisarem o plasma sanguíneo do *Crocodylus moreletii* na fronteira entre o México e Belize notaram que os animais adultos ($0,007 \pm 0,001 \text{ mg L}^{-1}$) apresentaram maiores concentrações de Hg que os animais subadultos ($0,004 \pm 0,002 \text{ mg L}^{-1}$) ($P = 0,04$).

A literatura aponta que normalmente os animais maiores são mais propícios a apresentarem concentrações mais elevadas de contaminantes devido a exposição prolongada no ambiente (SCHNEIDER et al., 2015; BUAH-KWOFIE et al., 2018; SANTOS et al., 2021). Além disso, a bioacumulação dos elementos traços pode acontecer por diversas vias: cutânea, respiratória e digestória (BURGER, 2008). A via digestiva é a principal responsável pelo processo de biomagnificação desses animais, uma vez que eles se encontram no topo da cadeia trófica onde se alimentam de presas maiores que possivelmente contém uma maior concentração de contaminantes (HOFFMAN et al., 2001; EGGINS et al., 2015).

As concentrações de Cd, Cr, Cu, Mn, Ni e Pb não apresentaram diferença estatisticamente para os fatores bióticos avaliados (matriz biológica, faixa etária e

sexo), além disso, apresentaram concentrações baixas em relação aos outros elementos nas matrizes biológicas (escama, pele, músculo e sangue). A literatura destaca a relevância desses fatores na toxicocinética desses metais, ou seja, a implicância na distribuição, metabolismo e excreção desses metais desde o momento que entra no indivíduo (BARBOSA, 2005).

7. CONCLUSÕES

A contaminação das bacias hidrográficas do estado de Pernambuco é constatada em diversos estudos que quantificam metais e outros contaminantes em sedimentos e águas superficiais. Além disso, organismos de diferentes níveis tróficos também utilizados como biomonitores demonstram e confirmam esta hipótese de exposição aguda e crônica. Esta pesquisa forneceu informações importantes sobre a quantificação e distribuição de elementos traços em *Caiman latirostris* resgatados na Região Metropolitana de Recife, e reiterou a importância e eficácia das matrizes biológicas (escama, pele, músculo e sangue) como ferramentas não-letais na quantificação de contaminantes em jacarés machos e fêmeas, de diferentes classes etárias.

Uma vez que os animais estudados não apresentaram alterações clínicas aparentes, torna-se ainda mais urgente a compreensão dos possíveis impactos dos contaminantes ao longo do ciclo de vida dos jacarés. Isso se deve ao fato de que esses animais estão expostos não somente a metais, mas a uma complexa mistura de contaminantes que podem causar respostas biológicas em níveis moleculares, comportamentais, reprodutivos e de desenvolvimento. Essas respostas podem ter implicações significativas na conservação das populações de jacarés a médio e longo prazo, tornando fundamental a realização de novos estudos nesse sentido.

8. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à equipe do "Projeto Jacaré" do Laboratório Interdisciplinar de Anfíbios e Répteis (LIAR) pelo apoio durante as atividades de campo de manejo com os jacarés, bem como ao corpo técnico do Centro de Triagem e Reabilitação de Animais Silvestres - CETRAS Tangará (CPRH) pela parceria na realização deste trabalho. Ao CNPq pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa. Também são gratos ao Centro de Apoio à Pesquisa -

CNAPESQ da UFRPE pelo suporte fornecido. O trabalho em equipe e a colaboração de diferentes instituições são essenciais para o sucesso de estudos como este e para a conservação da fauna silvestre.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADHIKARI, S.P. et al. Epidemiology, causes, clinical manifestation and diagnosis, prevention and control of coronavirus disease (COVID-19) during the early outbreak period: a scoping review. *Infectious Diseases of Poverty*, v. 29, p. 1-12, 2020.

AMAVET, Patricia et al. Microsatellite DNA markers applied to detection of multiple paternity in *Caiman latirostris* in Santa Fe, Argentina. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology*, v. 309, n. 10, p. 637-642, 2008.

APAC- Agência Pernambucana de Recursos Hídricos. Boletins Hídricos. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/rios-e-reservatorios>. Acesso em: 01 de outubro de 2022 e 22 de janeiro de 2023.

ATLI, G.; CANLI, M. Enzymatic responses to metal exposures in a freshwater fish *Oreochromis niloticus*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, v. 145, p. 282-287, 2007.

BARBOSA, Eduardo Macedo. A toxicologia na saúde ambiental: a aplicação dos conceitos da toxicocinética. *Cad. saúde colet.*, (Rio J.), p. 869-886, 2005.

BARROS, Alessandra Maciel de Lima. Modelagem da poluição pontual e difusa: aplicação do modelo MONERIS à bacia hidrográfica do rio Ipojuca, Pernambuco. 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

BASSET, Luís Antonio BOCHETTI. Estado sanitário do jacaré-de-papo-amarelo (*Caiman latirostris*) em paisagens antropizadas no Estado de São Paulo. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BRAYNER, Fátima Maria Miranda; PIMENTEL, Maria Fernanda; DA COSTA, Siciônia S. Pereira. Environmental conditions of wetlands in Recife (Brasil). *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, v. 26, n. 3, p. 1305-1308, 1998.

BRUN, Flávia Gizele König; LINK, Dionísio; BRUN, Eleandro José. O emprego da arborização na manutenção da biodiversidade de fauna em áreas urbanas. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, v. 2, n. 1, p. 117-127, 2007.

BUAH-KWOFIE, Archibold et al. Accumulation of organochlorine pesticides in fat tissue of wild Nile crocodiles (*Crocodylus niloticus*) from iSimangaliso Wetland Park, South Africa. *Chemosphere*, v. 195, p. 463-471, 2018.

BUENFIL-ROJAS, A. M. et al. Distribution of metals in tissues of captive and wild Morelet's crocodiles and the potential of metallothioneins in blood fractions as a biomarker of metal exposure. *Chemosphere*, v. 244, p. 125551, 2020.

BUENFIL-ROJAS, A. M.; ÁLVAREZ-LEGORRETA, T.; CEDEÑO-VÁZQUEZ, J. R. Metals and metallothioneins in Morelet's crocodile (*Crocodylus moreletii*) from a transboundary river between Mexico and Belize. *Archives of environmental contamination and toxicology*, v. 68, p. 265-273, 2015.

BUENFIL-ROJAS, Asela Marisol et al. Effectiveness of Morelet's crocodile as a bioindicator of metal pollution and metallothionein response to spatial variations of metal exposure. *Environmental Advances*, v. 8, p. 100251, 2022.

BURGER, J. et al. Metals and metalloids in tissues of American alligators in three Florida lakes. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 38, p. 501-508, 2000.

BURGER, Joanna. Assessment and management of risk to wildlife from cadmium. *Science of the total environment*, v. 389, n. 1, p. 37-45, 2008.

CAMPBELL A. The potential role of aluminum in Alzheimer's disease. *Nephrol Dial Transplant*. 2002;17(Suppl 2):17-20.

CARDOSO, José Guilherme da Rocha et al. A indústria do alumínio: estrutura e tendências. 2011.

CHABRECK, R., Methods of capturing, marking and sexing alligators. *Proc. Ann. Conf. Southeastern Assoc. Game Fish Comm.*, 17: 47-50, 1963.

CHAGAS, Dorvanir Cruz das. Aspectos da caça e comércio de jacaré (*Crocodylia: Alligatoride*) no rio Copeá, no Município de Maraã (Am). 2017.

CIRILO K L. Contaminantes em população de vida livre de Caiman latirostris (Daudin, 1802) no Parque Estadual Dois Irmãos, Pernambuco. 2019. 44 f. Monografia- Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

COOK, R. A.; BEHLER, J.; BRAZAITIS, P. Elevated heavy metal concentrations in captive crocodilians-2 cases. In: Proc. Am. Assoc. Zoo Vet. 1989.

CORREIA, Jozélia et al. Mercury contamination in alligators (*Melanosuchus niger*) from Mamirauá Reservoir (Brazilian Amazon) and human health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 21, p. 13522-13527, 2014.

CORREIA, Jozélia Maria de Sousa, Ednilza Maranhão dos Santos, Paulo Braga Mascarenhas Júnior, Rafael Sá Leitão Barboza. Tratado de crocodilianos do Brasil; Crocodilianos da Região Nordeste do Brasil: histórico, status e estratégias para conservação. Instituto Marcos Daniel. 2021.

COUTINHO, Marcos E. et al. Avaliação do risco de extinção do jacaré-de-papo-amarelo *Caiman latirostris* (Daudin, 1802) no Brasil. Embrapa Pantanal-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2013.

CPRH. Fauna e Flora> Centro de Triagem de Animais Silvestres- CETAS. Recife, PE. Disponível em: <<http://www2.cprh.pe.gov.br/fauna-e-flora/centro-de-triagem-de-animais-silvestres-cetas/>>. Acesso em: 14 de novembro de 2022.

DELANY, Michael F.; BELL, John U.; SUNDLOF, Stephen F. Concentrations of contaminants in muscle of the American alligator in Florida. *Journal of Wildlife Diseases*, v. 24, n. 1, p. 62-66, 1988.

DOS ANJOS, H. R. Distribuição, estrutura e razão sexual de população de Caiman latirostris (Daudin, 1802) em um ambiente lêntico de Mata Atlântica, Nordeste do Brasil. 2019. 80 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

DU PREEZ, Marinus et al. Metallic elements in Nile crocodile eggs from the Kruger National Park, South Africa. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 148, p. 930-941, 2018.

EGGINS, Sam et al. Mercury concentrations in different tissues of turtle and caiman species from the Rio Purus, Amazonas, Brazil. *Environmental toxicology and chemistry*, v. 34, n. 12, p. 2771-2781, 2015.

FILOGÔNIO, R.; Assis, V.B.; Passos, L.F. & Coutinho, M.E. 2010. Distribution of broad-snouted caiman (*Caiman latirostris*, Daudin 1802, Alligatoridae) in the São Francisco River basin, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 70(4): 961-968.

FNEM, Fórum Nacional de Entidades Metropolitanas. Região Metropolitana do Recife (PE). Disponível em: <https://fnembrasil.org/regiao-metropolitana-de-recife-pe/>. Acessar: 14 de fevereiro de 2023.

FRAGA, Cesar G.; OTEIZA, Patricia I. Iron toxicity and antioxidant nutrients. *Toxicology*, v. 180, n. 1, p. 23-32, 2002.

FREITAS-FILHO, R. F. Dieta e Avaliação de Contaminação Mercurial no Jacaré-de-Papo-Amarelo, *Caiman latirostris*, Daudin 1802, (Crocodylia, Alligatoridae) em Dois Parques Naturais no Município do Rio de Janeiro, Brasil. Unpublished master degree dissertation, Federal University of Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brazil, 2008.

FURQUIM, Nelson Roberto. Impacto de Produtos Inovadores no Crescimento do Mercado de Zinco Metálico no Brasil. *BBR. Brazilian Business Review*, v. 14, p. 403-416, 2017.

GHOLAMHOSSEINI, Amin et al. Heavy metals in the blood serum and feces of mugger crocodile (*Crocodylus palustris*) in Sistan and Baluchistan Province, Iran. *Biological Trace Element Research*, v. 200, n. 7, p. 3336-3345, 2021.

GOULART, M. D.; CALLISTO, Marcos. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. *Revista da FAPAM*, v. 2, n. 1, p. 156-164, 2003.

GRILLITSCH, Britta; SCHIESARI, Luis. 12 The Ecotoxicology of Metals in Reptiles. In: *Ecotoxicology of amphibians and reptiles*. CRC Press New York, 2010. p. 337-448.

HOFFMAN, DAVID J. et al. *Environmental contaminants*. 2001.

HOUDE, Magali et al. Influence of lake characteristics on the biomagnification of persistent organic pollutants in lake trout food webs. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, v. 27, n. 10, p. 2169-2178, 2008.

IBS, Klaus-Helge; RINK, Lothar. Zinc-altered immune function. *The Journal of nutrition*, v. 133, n. 5, p. 1452S-1456S, 2003.

IBS, Klaus-Helge; RINK, Lothar. Zinc-altered immune function. *The Journal of nutrition*, v. 133, n. 5, p. 1452S-1456S, 2003.

JEFFREE, R. A.; MARKICH, S. J.; TWINING, J. R. Element concentrations in the flesh and osteoderms of estuarine crocodiles (*Crocodylus porosus*) from the Alligator Rivers Region, Northern Australia: biotic and geographic effects. *Archives of environmental contamination and toxicology*, v. 40, n. 2, p. 236-245, 2001.

JOANEN, Ted; MCNEASE, Larry. A telemetric study of adult male alligators on Rockefeller Refuge, Louisiana. In: *Proceedings of the Annual Conference of the Southeastern Association of Game and Fish Commissioners*. 1972. p. 252-275.

KHAN, Bernine; TANSEL, Berrin. Mercury bioconcentration factors in American alligators (*Alligator mississippiensis*) in the Florida Everglades. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 47, n. 1, p. 54-58, 2000.

LANCE, Valentine A.; ELSEY, Ruth M.; TROSCLAIR III, Phillip L. Sexual maturity in male American Alligators in southwest Louisiana. *South American Journal of Herpetology*, v. 10, n. 1, p. 58-63, 2015.

LAWSON, Abigail J. et al. Nonlinear patterns in mercury bioaccumulation in American alligators are a function of predicted age. *Science of the Total Environment*, v. 707, p. 135103, 2020.

LEMAIRE, Jérémy et al. I got it from my mother: Inter-nest variation of mercury concentration in neonate Smooth-fronted Caiman (*Paleosuchus trigonatus*) suggests maternal transfer and possible phenotypical effects. *Environmental research*, v. 194, p. 110494, 2021

MARINHO, G; Leitão, L; Lacerda, N. (2007). Transformações urbanísticas na região Metropolitana do Recife: um estudo prospectivo. Cadernos Metrópole, São Paulo, n17, p. 193-217.

MARTINS, Thaís Fabiane Gomes et al. Bioindicadores para avaliação do impacto ambiental em ecossistemas aquáticos e os efeitos dos contaminantes sobre os organismos aquáticos, 2022.

MASCARENHAS - JÚNIOR, P. B. et al. Caiman latirostris (Daudin, 1802) interaction with fishing nets in a lentic area, Northeast of Brazil. Herpetology Notes, v. 11, p. 977-980, 2018.

MASCARENHAS - JÚNIOR, P. B. et al. Space-time distribution of Caiman latirostris (Alligatoridae) in lentic area of Atlantic Forest, northeast of Brazil. Herpetology Notes, v. 13, p. 129-137, 2020.

MASCARENHAS-JUNIOR, Paulo et al. Conflicts between humans and crocodilians in urban areas across Brazil: a new approach to support management and conservation. Ethnobiology and Conservation, v. 10, 2021.

MOORE, Liberty A. et al. Tissue distribution of mercury in the bodies of wild American alligators (*Alligator mississippiensis*) from a coastal marsh in Louisiana (USA). Archives of Environmental Contamination and Toxicology, v. 83, n. 1, p. 13-20, 2022.

MYBURGH, J.G., Kirberger, R.M., Steyl, J.C.A., Soley, J.T., Booyse, D.G., Huchzermeyer, F.W., Lowers, R.H., JR, L.J.G., Africa, S., Studies, A.C., Africa, S., Africa, S., Health, I., Space, K., States, U., 2014. The post-occipital spinal venous sinus of the Nile crocodile (*Crocodylus niloticus*): Its anatomy and use for blood sample collection and intravenous infusions. Journal of the South African Veterinary Association, v. 85, n. 1, p. 01-10, 2014.

NEGROMONTE, Mayara Gabrielly et al. Resgate, apreensão e destinação da herpetofauna pelos órgãos de fauna na região metropolitana do Recife, Pernambuco: contribuição para conservação. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 12, n. 4, p. 176-193, 2021.

NILSEN, Frances M. et al. Examining toxic trace element exposure in American alligators. *Environment international*, v. 128, p. 324-334, 2019.

NILSEN, Frances M. et al. Trace element biodistribution in the American alligator (*Alligator mississippiensis*). *Chemosphere*, v. 181, p. 343-351, 2017.

PIRAS, Ilaria M. et al. Hepatic fibrosis induced zinc-deficient dermatosis in American alligators (*Alligator mississippiensis*). *bioRxiv*, p. 2022.08. 30.505809, 2022

POLETTA, G. L. et al. Caiman latirostris (broad-snouted caiman) as a sentinel organism for genotoxic monitoring: basal values determination of micronucleus and comet assay. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, v. 650, n. 2, p. 202-209, 2008.

PREFEITURA DO RECIFE. Caracterização do território. <https://www2.recife.pe.gov.br/pagina/caracterizacao-do-territorio>. Acesso em: 08 de fev. de 2023.

PREZOTO, Fábio et al. FAUNA URBANA: QUEM VIVE AQUI?. *CES Revista*, v. 33, n. 2, p. 119-146, 2019.

RAMEH-DE-ALBUQUERQUE, Luciana C. et al. Hematological values of wild Caiman latirostris (Daudin, 1802) in the Atlantic Rainforest in Pernambuco, Brazil. *Acta Herpetologica*, v. 16, n. 2, p. 99-108, 2021.

ROCHA, A.A.; PEREIRA, D.N.; PÁDUA, B.H. Produtos de pesca e contaminantes químicos na água da represa Billings, São Paulo (Brasil). *Revista de Saúde pública*, v.19, p.401-410, 1985.

ROCHA, M. L. C. F. Indicadores ecológicos e biomarcadores de contaminação ambiental na ictiofauna da baía de Santos e do canal de Bertioga, São Paulo, Brasil. Tese (doutorado) Faculdade de Oceanografia da universidade de São Paulo. Departamento de oceanografia biológica. 2009, 225 p.

RODRIGUES, Cristianne Ferreira Machado et al. Desafios da saúde pública no Brasil: relação entre zoonoses e saneamento. *Scire Salutis*, v. 7, n. 1, p. 27-37, 2017.

SANTOS, Rayssa Lima et al. Metallic elements in aquatic herpetofauna (Crocodylia; Testudines) from a lentic Atlantic rainforest environment in northeastern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 193, n. 5, p. 314, 2021.

SCHNEIDER, Larissa et al. An evaluation of the use of reptile dermal scutes as a non-invasive method to monitor mercury concentrations in the environment. *Chemosphere*, v. 119, p. 163-170, 2015.

SCHNEIDER, Larissa et al. Mercury concentration in the spectacled caiman and black caiman (Alligatoridae) of the Amazon: implications for human health. *Archives of environmental contamination and toxicology*, v. 63, p. 270-279, 2012.

SCOT, N.J; AQUINO, A.L. & FITZGERALD, L.A .1990. Distribution, habitats, and the conservation of the caimans (Alligatoridae) of Paraguay. *Vida Silvestre Neotropical* 2(2):43-51.

SHARMA, V. K. et al. Cases and solutions: metals and grain size distribution in soil of the middle Rio Grande basin, Texas, USA. *Environmental Geology*, v. 39, v. 6, p. 698-704, 2000.

SILVA, Jadna Maria; NAVONI, Júlio Alejandro; FREIRE, Eliza Maria Xavier. Lizards as model organisms to evaluate environmental contamination and biomonitoring. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 192, n. 7, p. 1-13, 2020.

SILVA, Jean Carlos Ramos. Zoonoses e doenças emergentes transmitidas por animais silvestres. *Associação Brasileira de Veterinários de Animais Selvagens/ABRAVAS*, p. 1-4, 2004.

SILVA, Jordany Gomes da. Avaliação genotóxica e mutagênica em Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) das águas do Rio Capibaribe, Pernambuco, Brasil. 2019.

SILVA, Jose Adailton Barroso et al. A urbanização no mundo contemporâneo e os problemas ambientais. *Caderno de Graduação-Ciências Humanas e Sociais-UNIT-SERGIPE*, v. 2, n. 2, p. 197-207, 2014.

SOUZA, Ana Kely Rufino et al. Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores. *Acta Biomédica Brasiliensia*, v. 9, n. 3, p. 95-106, 2018.

SOUZA, Karen Giorgeti et al. A influência do zinco no reparo ósseo: Uma revisão de literatura. *Revista Virtual de*, 2018.

TELLEZ, Marisa; MERCHANT, Mark. Biomonitoring heavy metal pollution using an aquatic apex predator, the American alligator, and its parasites. *PLoS One*, v. 10, n. 11, p. e0142522, 2015.

VERAS, Ana Carla Martins. Análise da contaminação por metais pesados na água e em sedimentos da bacia hidrográfica do Rio Doce. 2020. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

VERDADE, L.M. & LAVORENTI, A. 1990. Preliminary notes on the status and conservation of *Caiman latirostris* in the State of São Paulo, Brazil; directions of the captive breeding, reintroduction and management program. pp.231-237. In: Proc. 10th Work. Meet. Croc. Spec. Group. Vol. 2. IUCN - The World Conservation Union, Gland, Switzerland.

VIEIRA, L. M. et al. Mercury and methyl mercury ratios in caimans (*Caiman crocodilus yacare*) from the Pantanal area, Brazil. *Journal of Environmental Monitoring*, v. 13, n. 2, p. 280-287, 2011.

VITT, Laurie J.; CALDWELL, Janalee P. Herpetology: an introductory biology of amphibians and reptiles. Academic press, 2014.

WANG, G.; Zhang, J. & Yang, Q. (2016) Attribution of Runoff Change for the Xinshui River Catchment on the Loess Plateau of China in a Changing Environment. *Water*, 8(267), 1-14.

WEBB G. J. W., MANOLIS C.; SACK G. C. Cloacal sexing of hatchling crocodiles. *Australian wildlife research* 11: p. 201–202, 1984.

WEN, Chang Yau et al. Comparação de Ligas Comerciais de Zinco através de Análises Mecânica e Microestruturais. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso.

WESSLING-RESNICK, Marianne. Excess iron: considerations related to development and early growth. *The American journal of clinical nutrition*, v. 106, n. suppl_6, p. 1600S-1605S, 2017.

WILKINSON, P. M., et al. Determinate Growth and Reproductive Lifespan in the American Alligator (*Alligator mississippiensis*): Evidence from Long-term Recaptures. *Copeia*.4, p.843-852, 2016.

XU, Qianghua et al. Heavy metal distribution in tissues and eggs of Chinese alligator (*Alligator sinensis*). *Archives of environmental contamination and toxicology*, v. 50, n. 4, p. 580-586, 2006.

XU, Qianghua et al. Heavy metal distribution in tissues and eggs of Chinese alligator (*Alligator sinensis*). *Archives of environmental contamination and toxicology*, v. 50, n. 4, p. 580-586, 2006.

XU, Zibo et al. Evolution of redox activity of biochar during interaction with soil minerals: Effect on the electron donating and mediating capacities for Cr (VI) reduction. *Journal of Hazardous Materials*, v. 414, p. 125483, 2021

YABE, Maria Josefa Santos; OLIVEIRA, Elisabeth de. Metais pesados em águas superficiais como estratégia de caracterização de bacias hidrográficas. *Química Nova*, v. 21, n. 5, p. 551-556, 1998.

YANOSKY, A. A. Histoire naturelle du Caiman à museau large (*Caiman latirostris*), un alligatoriné mal connu. *Revue française d'aquariologie (Nancy)*, v. 17, n. 1, p. 19-31, 1990.

YOKEL RA and MCNAMARA PJ. Aluminium toxicokinetics: an updated minireview. *Pharmacol Toxicol*. 2001;88(4):159-67.

ZHOU, Qunfang et al. Biomonitoring: an appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. *Analytica chimica acta*, v. 606, n. 2, p. 135-150, 2008.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo em questão trouxe informações relevantes sobre a quantificação e a distribuição de elementos traços em *Caiman latirostris* resgatados na Região Metropolitana de Recife. Além disso, destacou a importância e a eficácia do uso de matrizes biológicas não letais na quantificação de contaminantes em jacarés. Essa abordagem é crucial para o monitoramento da biota aquática.

Foram observadas variações nas concentrações dos elementos traços presentes nas amostras de escamas, peles, músculos e sangue, bem como entre fêmeas e machos, adultos e subadultos. Recomenda-se a continuidade de pesquisas com a finalidade de monitorar os efeitos dessas concentrações na fisiologia dos animais. Essas análises podem fornecer informações para entender melhor como esses elementos podem afetar a saúde e o bem-estar da biota aquática, utilizando *C. latirostris* como *biomonitor*, fornecendo assim, informação, para a conservação das populações de jacarés.