



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL**  
**CAMPUS ERECHIM**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - BACHARELADO**

**MEL CHRISTINE OLIVEIRA PIRES**

**NÍVEIS DE CONCENTRAÇÃO DE FERRO E ZINCO EM DUAS ESPÉCIES DE  
PEIXES MARINHOS DO ARQUIPÉLAGO SÃO PEDRO E SÃO PAULO,  
BRASIL**

**ERECHIM**

**2024**

**MEL CHRISTINE OLIVEIRA PIRES**

**NÍVEIS DE CONCENTRAÇÃO DE FERRO E ZINCO EM DUAS ESPÉCIES DE  
PEIXES MARINHOS DO ARQUIPÉLAGO SÃO PEDRO E SÃO PAULO,  
BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de Ciências  
Biológicas - Bacharelado, da  
Universidade Federal da Fronteira Sul,  
Campus Erechim, como requisito para a  
obtenção do título de Bacharel em  
Ciências Biológicas.

Orientador: Dr. Daniel Galiano  
Coorientadora: Dra. Lilian Sander  
Hoffmann

**ERECHIM**

**2024**

**Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS**

Pires, Mel Christine Oliveira

NÍVEIS DE CONCENTRAÇÃO DE FERRO E ZINCO EM DUAS  
ESPÉCIES DE PEIXES MARINHOS DO ARQUIPÉLAGO SÃO PEDRO E  
SÃO PAULO, BRASIL / Mel Christine Oliveira Pires, Lilian  
Sander Hoffmann, Cristina Matzembacher, Daniel Galiano.  
-- 2024.

31 f.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Galiano

Co-orientadora: Dra. Lilian Sander Hoffmann

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de  
Bacharelado em Ciências Biológicas, Erechim,RS, 2024.

1. Contaminação. 2. Metais pesados. 3. Peixes  
oceânicos. 4. Thunnus atlanticus. 5. Acanthocybium  
solandri. I. Hoffmann, Lilian Sander II. Matzembacher,  
Cristina III. Galiano, Daniel IV. Galiano, Daniel,  
orient. V. Hoffmann, Lilian Sander, co-orient. VI.  
Universidade Federal da Fronteira Sul. VII. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).


**MEL CHRISTINE OLIVEIRA PIRES**

**NÍVEIS DE CONCENTRAÇÃO DE FERRO E ZINCO EM DUAS ESPÉCIES DE PEIXES MARINHOS DO ARQUIPÉLAGO SÃO PEDRO E SÃO PAULO, BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Ciências Biológicas - Bacharelado, da Universidade Federal da Fronteira Sul como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.


Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 21/06/2024.

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **DANIEL GALIANO**  
Data: 04/07/2024 13:05:09-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Daniel Galiano - UFFS Orientador

Documento assinado digitalmente  
 **LILIAN SANDER HOFFMANN**  
Data: 04/07/2024 13:11:06-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dra. Lilian Sander Hoffmann - UFRGS Coorientadora

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Helen Treichel - UFFS Avaliadora

---

Prof. Dr<sup>ª</sup>. Marília Hartmann - UFFS Avaliador

## RESUMO

O ambiente marinho é altamente propenso à contaminação pela ação antropogênica e essa interferência não só apresenta risco para os organismos marinhos e a biodiversidade local, mas também à população humana consumidora de pescado. Dentre os tipos de contaminação que podem afetar o ambiente marinho estão os metais pesados, que têm efeitos negativos tanto para a saúde dos organismos quanto dos consumidores de pescado. Com isto, o objetivo do presente estudo foi avaliar as concentrações de Fe e Zn em duas espécies de peixes marinhos consumidas pelos seres humanos, o atum, *Thunnus atlanticus* e a cavala, *Acanthocybium solandri*, espécies capturadas nas águas do entorno do Arquipélago São Pedro São Paulo, Brasil. Além disso, buscamos compreender a genotoxicidade destes metais por meio da determinação da frequência de micronúcleos nestas espécies e sua correlação com os níveis de concentração dos respectivos metais. Frente aos dados oferecidos pela Anvisa e OMS, sobre o limite de consumo de peixes contaminados, os resultados do presente estudo mostraram que os valores obtidos para o zinco nestas duas espécies de peixes encontravam-se dentro dos limites máximos aceitáveis definidos para o consumo. Ainda não existe um valor de concentração máxima estabelecida pela legislação brasileira para o ferro.

**Palavras-chaves:** Contaminação, metais pesados, peixes oceânicos, *Thunnus atlanticus*, *Acanthocybium solandri*

## ABSTRACT

The marine environment is highly prone to contamination by anthropogenic action and this interference not only poses a risk to marine organisms and local biodiversity, but also to the human population that consumes fish. Among the types of contamination that can affect the marine environment are heavy metals, which have negative effects on both the health of organisms and fish consumers. Therefore, the objective of the present study was to evaluate the concentrations of Fe and Zn in two species of marine fish consumed by humans, the tuna, *Thunnus atlanticus* and the mackerel, *Acanthocybium solandri*, species captured in the waters surrounding the Archipelago São Pedro São Paulo, Brazil. Furthermore, we sought to understand the genotoxicity of these metals by determining the frequency of micronuclei in these species and their correlation with the concentration levels of the respective metals. In view of the data offered by Anvisa and WHO, on the limit of consumption of contaminated fish, the results of the present study showed that the values obtained for zinc in these two species of fish were within the maximum acceptable limits defined for consumption. There is still no maximum concentration value established by Brazilian legislation for iron.

**Keywords:** Contamination, heavy metals, oceanic fish, *Thunnus atlanticus*, *Acanthocybium solandri*

**SUMÁRIO**

INTRODUÇÃO.....	9
MATERIAIS E MÉTODOS.....	13
2.1 Área de estudo e coleta de espécimes.....	13
2.2 Preparação de amostras e determinação dos metais.....	15
2.3 Preparação de amostras e determinação dos micronúcleos.....	15
2.4 Análises estatísticas.....	16
RESULTADOS.....	17
DISCUSSÃO.....	22
AGRADECIMENTOS.....	24
REFERÊNCIAS .....	24
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	31

## NÍVEIS DE CONCENTRAÇÃO DE FERRO E ZINCO EM PEIXES MARINHOS DO ARQUIPÉLAGO SÃO PEDRO E SÃO PAULO

Mel Christine Oliveira Pires<sup>1</sup>, Lilian Sander Hoffmann<sup>2</sup>, Cristina Matzenbacher<sup>2</sup> e Daniel Galiano<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Ecologia e Conservação, Universidade Federal da Fronteira Sul, RS-135, 200, Zona Rural, 99700-000, Erechim, RS, Brasil

<sup>2</sup> Laboratório de Citogenética e Evolução, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Farroupilha, 90010-150, Porto Alegre, RS, Brasil

\*Corresponding author: [daniel.galiano@uffs.edu.br](mailto:daniel.galiano@uffs.edu.br)

Palavras-chaves: *Acanthocybium solandri*, Contaminação, metais pesados, peixes oceânicos, *Thunnus atlanticus*

Running title: Concentrações de Fe e Zn em duas espécies de peixes

**Seção dos AABC: Ecosystems**

---

**\*\* Este artigo está formatado de acordo com as normas da Revista Anais da Academia Brasileira de Ciências**



## RESUMO

O ambiente marinho é altamente propenso à contaminação pela ação antropogênica e essa interferência não só apresenta risco para os organismos marinhos e a biodiversidade local, mas também à população humana consumidora de pescado. Dentre os tipos de contaminação que podem afetar o ambiente marinho estão os metais pesados, que têm efeitos negativos tanto para a saúde dos organismos quanto dos consumidores de pescado. Com isto, o objetivo do presente estudo foi avaliar as concentrações de Fe e Zn em duas espécies de peixes marinhos consumidas pelos seres humanos, o atum, *Thunnus atlanticus* e a cavala, *Acanthocybium solandri*, espécies capturadas nas águas do entorno do Arquipélago São Pedro São Paulo, Brasil. Além disso, buscamos compreender a genotoxicidade destes metais por meio da determinação da frequência de micronúcleos nestas espécies e sua correlação com os níveis de concentração dos respectivos metais. Frente aos dados oferecidos pela Anvisa e OMS, sobre o limite de consumo de peixes contaminados, os resultados do presente estudo mostraram que os valores obtidos para o zinco nestas duas espécies de peixes encontravam-se dentro dos limites máximos aceitáveis definidos para o consumo. Ainda não existe um valor de concentração máxima estabelecida pela legislação brasileira para o ferro.

## INTRODUÇÃO

Os metais pesados podem ser introduzidos nos ecossistemas aquáticos de maneira natural ou artificial, sendo naturalmente por meio do aporte atmosférico e chuvas, pela liberação e transporte a partir de rochas matrizes ou outros compartimentos do solo onde estão depositados naturalmente (Paula 2006, Seyler & Boaventura 2008). Já de modo artificial, os metais podem chegar aos oceanos através de fontes antropogênicas oriundas de diferentes atividades, como o esgoto, efluentes de indústrias, atividades agrícolas e rejeitos de áreas de mineração e garimpos (Cajuste et al. 1991, Gomes & Sato 2011, Moraes & Jordão 2002).

Apesar de metais ocorrerem naturalmente na natureza, as atividades antrópicas, como descarte de efluentes industriais, resíduos sólidos urbanos ou das áreas de plantio, têm contribuído significativamente para o aumento de suas concentrações em ecossistemas aquáticos, tornando estes elementos biodisponíveis aos organismos. Por não serem biodegradáveis, se acumulam em componentes ambientais como solo, água, plantas e animais onde podem manifestar sua toxicidade em concentrações mais elevadas (Voigt, Silva & Campos 2016).

Os seres vivos que habitam um corpo d'água com a presença de metais podem ser afetados de duas maneiras: com o efeito tóxico ao organismo, ou por bioacumulação, potencializando seu efeito ao longo da cadeia alimentar (Lima & Merçon 2011). Devido a esta capacidade de bioconcentração de metais potencialmente tóxicos, muitas espécies de peixes têm sido utilizadas nos últimos anos para monitorar os níveis de poluição em ambientes aquáticos (Gomes & Sato 2011), sendo que a poluição aquática derivada da presença de metais pode afetar a biodiversidade, bem como a saúde humana (Araújo & Cedeño 2016). A toxicidade de cada metal varia dependendo do seu nível trófico, dose, tempo de exposição e fatores ambientais como

pH, alcalinidade, acidez e temperatura, mobilidade, solubilidade, acessibilidade e disponibilidade também são muito importantes (Nkwunonwo et al. 2020).

O grupo que engloba as diferentes espécies de peixes ósseos é o que apresenta a maior diversidade entre os vertebrados. Considerando-se o ambiente marinho, são aproximadamente 1.298 espécies de águas salgadas (Menezes et al., 2003; Froese & Pauly, 2019). Porém, estima-se que haja 1.300 espécies de peixes marinhos ainda desconhecidas pela comunidade científica. Muitas dessas espécies geram interesse para aquariofilia, aquicultura e pesca (IBAMA, 2017).. Dentre as famílias que habitam os oceanos, a família Scombridae é composta por cavalas, atuns e bonitos. Seus integrantes são capturados nas pescarias comerciais, artesanais e recreacionais sendo essencialmente restritos aos ambientes marinhos (Collette & Nauen 1983).

O Arquipélago São Pedro e São Paulo (ASPSP) está localizado entre os hemisférios norte e sul e entre os continentes africano e americano e exerce grande influência no ciclo de vida de diversas espécies migratórias, caracterizando-se por ser um importante local de migração, reprodução e alimentação de peixes (Mendonça et al. 2018). Com 225 espécies de peixes listadas, 112 são pelágicas, 86 são rasas e 27 são peixes de recifes profundos, e seu isolamento gerou a evolução de uma biodiversidade única de peixes, com variedade de formas de cores e linhagens geneticamente divergentes (Pinheiro et al. 2020). Dentre as espécies pescadas no entorno do ASPSP, foram selecionadas duas, a cavala (*Acanthocybium solandri*) e o atum (*Thunnus atlanticus*), por serem espécies de grande interesse comercial.

A *Acanthocybium solandri* é uma das espécies mais importantes capturadas nos oceanos tropicais, sendo pescado tanto diretamente quanto como captura acessória na pesca de atum com palangre e cerco (Oxenford et al. 2003, Viana et al. 2008). No Brasil a espécie ocorre ao longo de todo o litoral, sendo capturada frequentemente pela frota

artesanal da região Nordeste principalmente no entorno de montes submarinos e ilhas do ASPSP e Fernando de Noronha (Campos et al. 2009). A outra espécie estudada, *Thunnus atlanticus* é considerada uma espécie oceânica, ocorrendo em regiões de águas mornas de pelo menos 20°C, abundante na costa brasileira. A espécie é epipelágica, podendo chegar a profundidades maiores de 400 metros, sendo dominada pelágica costeira (Collette & Nauen, 1983). Sendo explorado comercialmente usando redes de cerco e várias técnicas de linha e anzol no Brasil e em várias partes do Mar do Caribe, incluindo Cuba, República Dominicana, Pequenas Antilhas e Venezuela (Mathieu et al. 2013).

Os peixes são considerados bioindicadores porque respondem aos compostos tóxicos de maneira bastante similar aos grandes vertebrados, demonstrando sensibilidade aos mesmos agentes teratogênicos e carcinogênicos que o homem. Os micronúcleos são constituídos por massas de cromatina originadas de fragmentos cromossômicos ou cromossomos inteiros que se perderam durante o processo de divisão celular e o teste de micronúcleos. O teste de micronúcleos é utilizado para o monitoramento de prejuízos genotóxicos em quaisquer populações expostas a substâncias mutagênicas e carcinogênicas (Rivero 2007).

As espécies de pescado possuem alta digestibilidade e alto valor biológico, sendo uma das principais fontes de proteína disponíveis para a alimentação humana (Soares & Gonçalves 2012), sendo ricos também em vitaminas, sais minerais e, no caso de algumas espécies, ricas também em ômega 3 (Guérin et al. 2011). Em 2020, a produção total de pescado atingiu um recorde histórico de 214 milhões de toneladas, onde o consumo global per capita foi de cerca de 20,2 kg (FAO 2022).

Em síntese, microminerais desempenham um papel importante no crescimento, saúde e composição dos tecidos dos peixes. Além disso, seres vivos também necessitam

de pequenas quantidades de alguns desses minerais, incluindo Fe e Zn para a realização de funções vitais no organismo. O Fe participa de processos hepáticos, e também está associado ao transporte de oxigênio através da hemoglobina, sendo considerado um dos elementos mais importantes para o ser humano (Souza 2009 & Birungi et al. 2007). Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), cerca de 20 mg de Fe são necessários diariamente para um indivíduo adulto, mas o acúmulo ou excesso de Fe também pode ser extremamente nocivo para os tecidos, uma vez que esse elemento livre promove a síntese de espécies reativas de oxigênio que são tóxicas e lesam proteínas, lípidos e DNA (Grotto 2008).

O Zn é um elemento importante com múltiplas funções bioquímicas em sistemas biológicos e é encontrado em quase todas as células e em uma ampla variedade de alimentos. Peixes com um teor médio de Zn de 3-5 mg/kg são considerados uma boa fonte para este elemento essencial (Oehlenschläger 2002). O Zn presente em altas concentrações nas células pode interferir com outros processos metalo-dependentes ou inibir proteínas. Assim, a metalotioneína se acopla ao zinco e age como marcador bioquímico que controla a concentração do zinco. Um aumento na concentração de Zn disponível induz a síntese de metalotioneína, por meio da ação do Zn sobre os fatores de transcrição zinco-dependentes, formando a metalotioneína. Na presença de baixas concentrações de Zn na célula, o zinco é liberado da metalotioneína (Mafra & Cozzolino 2004).

Pelo fato de os peixes serem organismos que fazem parte da dieta humana, obter informações da biodisponibilidade dos elementos estudados nestes animais (Tomazelli et al. 2003), e os seus possíveis danos à saúde humana e dos próprios peixes, é uma informação muito importante sob o ponto de vista ecológico. Neste sentido, o presente estudo avaliou as concentrações de Fe e Zn em duas espécies de peixes marinhos consumidas pelos seres humanos, *Acanthocybium solandri* e o *Thunnus*

*atlanticus*, que são pescados nas águas do entorno do ASPSP. Além disso, buscamos compreender a genotoxicidade destes metais por meio da determinação da frequência de micronúcleos nestas espécies e sua correlação com os níveis de concentração dos respectivos metais. Desta forma, geramos dados que podem contribuir com o entendimento de questões de risco e contaminação humana por estes elementos, além da contaminação das populações naturais de espécies marinhas de peixes.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudo e coleta de espécimes**

O presente estudo foi desenvolvido no Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP), localizado no Oceano Atlântico Equatorial (0°55'06" N/29°20'48" O; Figura 1), sendo o mais setentrional arquipélago em território brasileiro (Campos et al. 2010). Inserido na Zona Econômica Exclusiva brasileira (ZEE) Nordeste do Brasil, é um dos menores e mais isolados grupos de ilhas oceânicas: localiza-se a 1.100 km da costa do Estado do Rio Grande do Norte, 627 km do Arquipélago de Fernando de Noronha e 1.824 km da costa Africana. Possui apenas 17.000 m<sup>2</sup> de área emersa, sem praias, vegetação ou água doce, e é composto por dez ilhas (seis maiores e quatro pequenas), que representam a parte emersa da dorsal Meso Atlântica. Os ventos dominantes são os alísios de sudeste, e a precipitação varia sazonalmente em função da posição latitudinal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a qual condiciona uma estação chuvosa, de janeiro a maio, e outra seca, de junho a setembro (Soares et al. 2009). O Arquipélago é rodeado por águas de elevada salinidade e temperatura, com uma termoclina permanente que impede o afloramento de águas mais profundas (Macedo et al. 2009). Além disso, é um importante lugar de alimentação e reprodução para várias espécies pelágicas migratórias, algumas de grande importância comercial (Vaske-Júnior et al. 2003 & Viana et al. 2015).

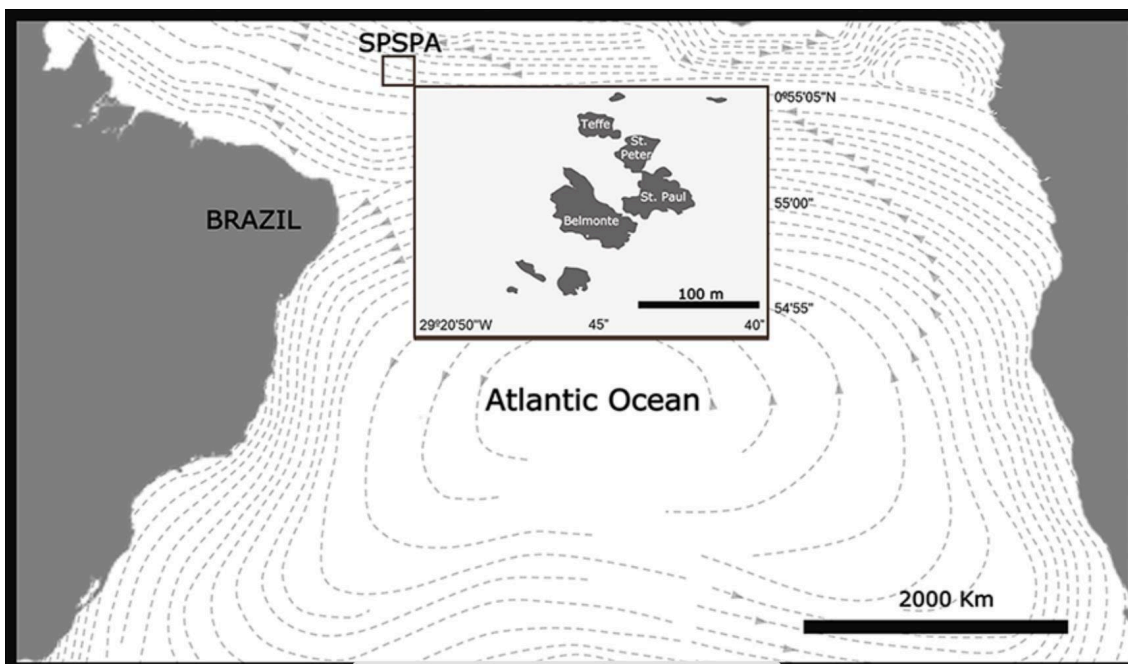


Figura 1: Mapa de localização do ASPSP situado no Oceano Atlântico. Fonte: Cruz, Hoffmann & Freitas, 2022.

A coleta dos espécimes ocorreu entre 26 de dezembro de 2023 a 22 de janeiro de 2024. O recurso pesqueiro foi coletado por pescadores profissionais, realizado na embarcação pesqueira que dá apoio logístico às pesquisas realizadas no ASPSP. Após sua retirada do mar, foram selecionados 40 indivíduos no total, sendo 20 *T. atlanticus* e 20 de *A. solandri*. Os indivíduos selecionados foram medidos (comprimento total em milímetros). E retirado uma amostra de músculo de cerca de 3 x 1 cm da região do flanco (músculo epaxial) utilizando lâmina estéril. Os tecidos foram acondicionados em eppendorfs estéreis e mantidos em freezer (-8 °C) e posteriormente levados para laboratório para processamento. Na mesma incisão onde foi amostrado o tecido muscular, realizou-se a coleta de sangue para esfregaço sanguíneo e determinação do número de micronúcleos.

## **2.2 Preparação de amostras e determinação dos metais**

As amostras musculares foram decompostas por diluição em ácido com placas de aquecimento. As amostras foram pesadas e transferidas para cápsulas de tubos falcon de 50 ml contendo 4 mL de HNO<sub>3</sub> e 2 mL de HCl (ambos reagentes concentrados). Em seguida, foram colocadas em uma placa de aquecimento com as seguintes etapas de aquecimento: (1) etapa de aquecimento de 20 minutos em rampa a 180°C e 10 minutos de permanência; (2) estágio de resfriamento a 70°C.

As soluções digeridas foram coletadas e armazenadas em frascos de polipropileno de 50 mL para determinação elementar com o espectrômetro de absorção atômica por chama (GBC Scientific Equipment, modelo SavantAA). Para a determinação dos elementos, todas as amostras foram filtradas em filtro de 0,45 µm (Chromafil©, Xtra PTFE 45/25). Os limites de detecção (LOD) foram estimados após a determinação dos analitos em 4 amostras de analito branco (4 mL de HNO<sub>3</sub> e 2 mL de HCl, medidos em 50 mL) e colocados em uma placa de aquecimento. Resultando na determinação do comprimento de onda (nm) e o LOD de cada elemento.

## **2.3 Preparação de amostras e determinação dos micronúcleos**

Foram coletadas também gotas de sangue de 10 indivíduos de cada espécie através de um corte no músculo. Este corte foi feito com uma lâmina estéril, e com uma pipeta estéril foi coletado cerca de 3 ml de sangue. A gota de sangue foi colocada sobre a lâmina para realizar o esfregaço. Após isso, esperou-se o sangue secar, para então colocar na cubeta com etanol por 10 minutos. Em laboratório foi realizado a coragem destas lâminas com 100ml de água destilada e o corante Giemsa. Foram analisadas 2.000 células por lâmina e apenas uma lâmina por espécie foi preparada.



Para observação dos micronúcleos foi usado o microscópio óptico, utilizando o aumento de 1000 vezes. Para cada animal foram contadas 2.000 células, registradas com auxílio de contadores estatísticos analógicos, e a quantidade de micronúcleos por indivíduo foi determinada. Uns dos principais critérios utilizados para identificação de micronúcleos foram: (1) a ausência de ligações com o núcleo principal; (2) mesma intensidade da coloração do núcleo principal (Fenech 2000); (3) mesmo plano focal. Ainda, durante a contagem, foram descartadas células sobrepostas e danificadas (Ail-Sabti & Metcalfe 1995).

#### **2.4 Análises estatísticas**

Foram calculadas as médias, desvio padrão e faixas de concentrações específicas (expressas em mg/g w.w) para os elementos Fe e Zn de cada espécie analisada. Os dados foram testados quanto à distribuição dos valores de normalidade através do teste de Shapiro-Wilk. As diferenças na concentração dos elementos entre as espécies foram avaliadas por meio de testes-T. A associação entre os níveis de concentração de cada metal analisado com o número de micronúcleos para cada espécie foi realizada por meio de regressões lineares simples. Ainda, modelos de regressão múltipla foram utilizados para avaliar a associação entre a concentração dos dois metais juntos com o número de micronúcleos para cada espécie. O nível de significância adotado foi de  $p < 0.05$ , e todas as análises foram realizadas no software R, no pacote *vegan* (R Core Team 2016). Além disso, os valores obtidos para a concentração de cada metal foram comparados com valores de ingestão diária máxima recomendados para uma pessoa de 70 kg, de acordo com a OMS e a ANVISA ( Decreto nº 5.871/65, Brasil; RDC nº 42/2013, Brasil). Os teores dos metais Fe e Zn foram estimados em mg/kg nas amostras de tecido muscular das espécies de peixes avaliadas.

## RESULTADOS

Os resultados da determinação de Fe e Zn acumulado nos músculos de *T. atlanticus* e *A. solandri* estão mostrados nas Figuras 2 e 3. De acordo com os resultados obtidos, a concentração de Fe foi significativamente maior no *T. atlanticus* ( $t=4.75$ ,  $p=0.0001$ ). Em relação ao Zn, o padrão observado foi o contrário, onde observamos uma concentração significativamente maior na espécie *A. solandri* ( $t=-2.52$ ,  $p=0.01$ ).

Em relação à quantidade de micronúcleos, *T. atlanticus* apresentou uma contagem total de seis micronúcleos nos 10 indivíduos amostrados, enquanto que *A. solandri* totalizou uma contagem de 10 micronúcleos (Figura 4). Para *T. atlanticus*, nenhum dos metais analisados apresentou associação significativa com o número de micronúcleos observado (Fe:  $R^2=0.38$ ,  $p=0.06$ ; Zn:  $R^2: 0.0002$ ,  $p=0.96$ ; Fe+Zn:  $R^2=0.39$ ,  $p=0.174$ ). Para *A. solandri*, observamos que apenas a concentração do metal Zn apresentou uma relação positiva e significativa com o número de micronúcleos observado (10) (Figuras 5, 6, 7 e 8).

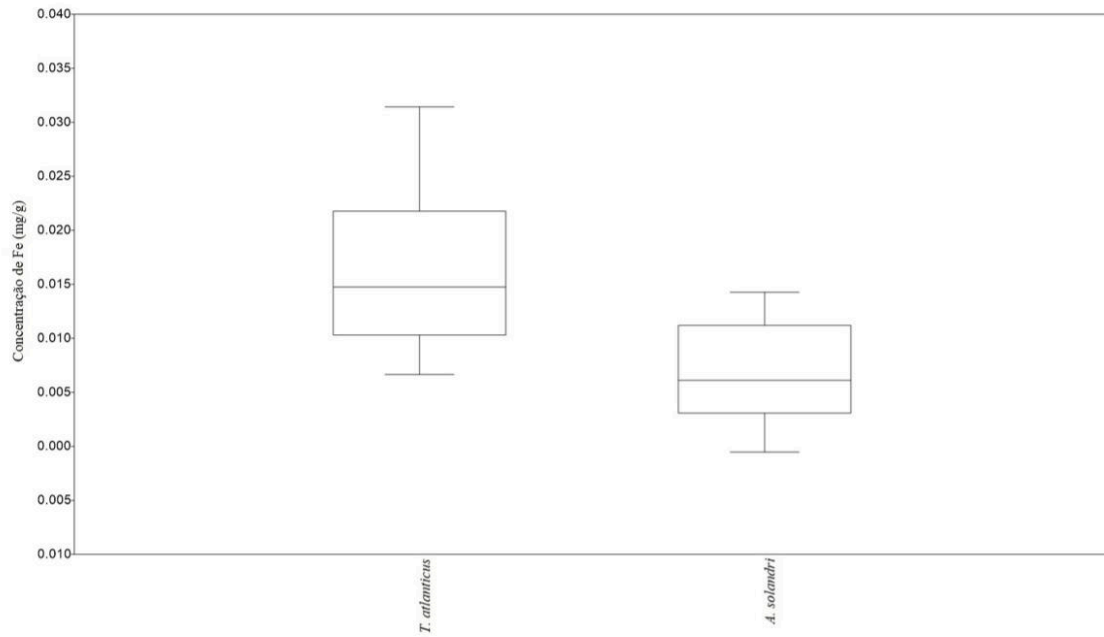


Figura 2: Diferença de concentração para o metal ferro entre as espécies *T. atlanticus* e *A. solandri*, amostradas no Arquipélago São Pedro e São Paulo, Brasil.

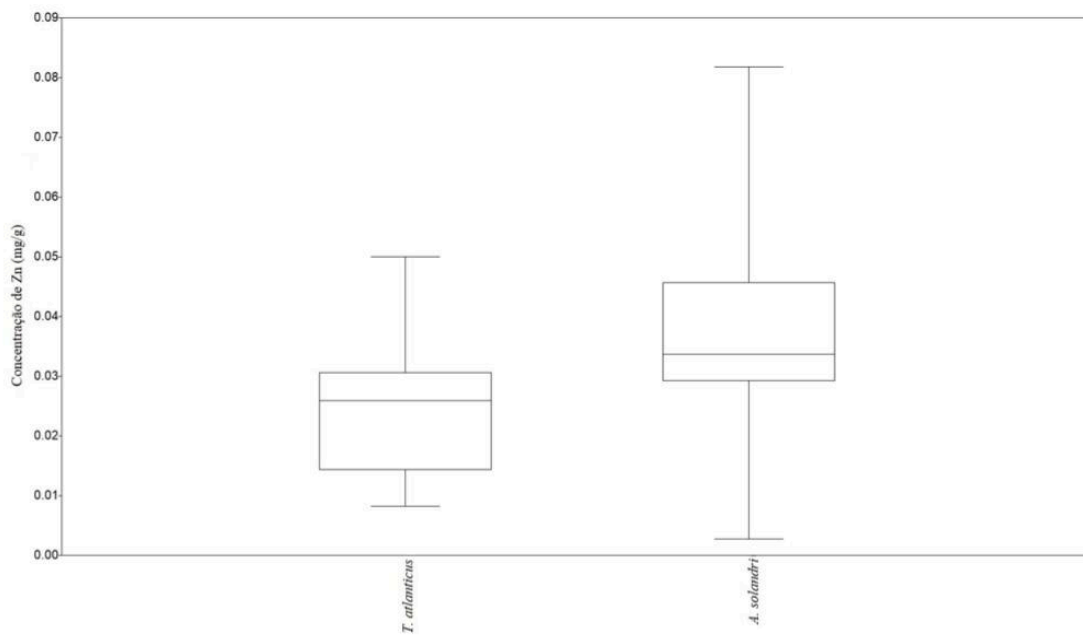


Figura 3: Diferença de concentração para o metal zinco entre as espécies *T. atlanticus* e *A. solandri*, amostradas no Arquipélago São Pedro e São Paulo, Brasil.

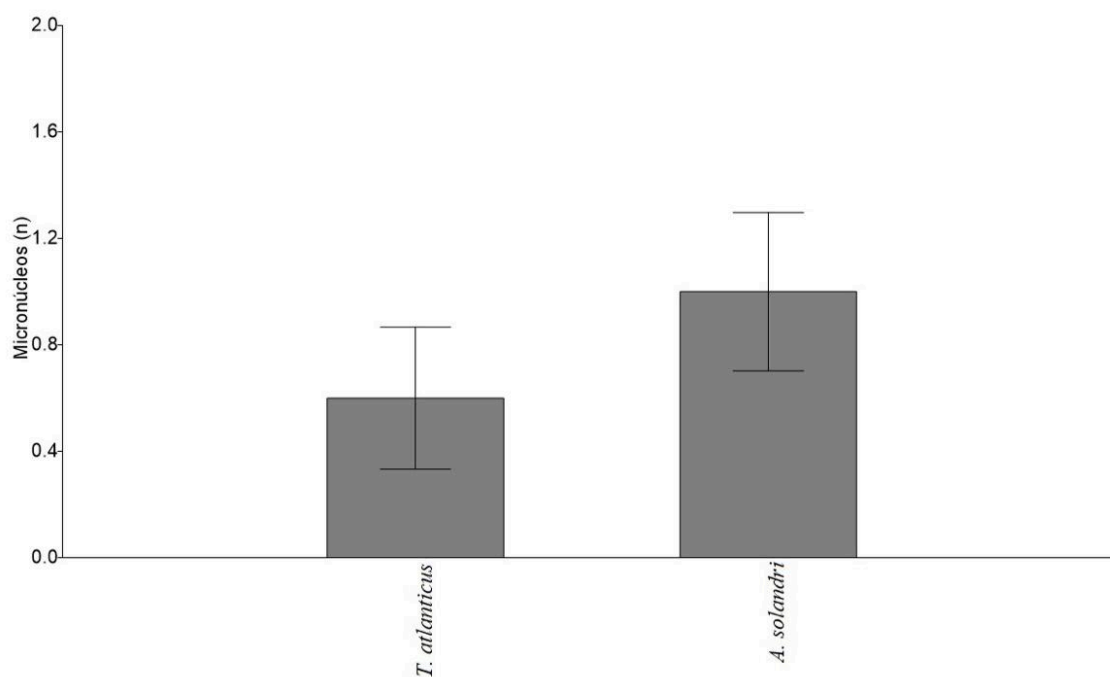


Figura 4: Número de micronúcleos para as duas espécies *T. atlanticus* e *A. solandri*, amostradas no Arquipélago São Pedro e São Paulo, Brasil.

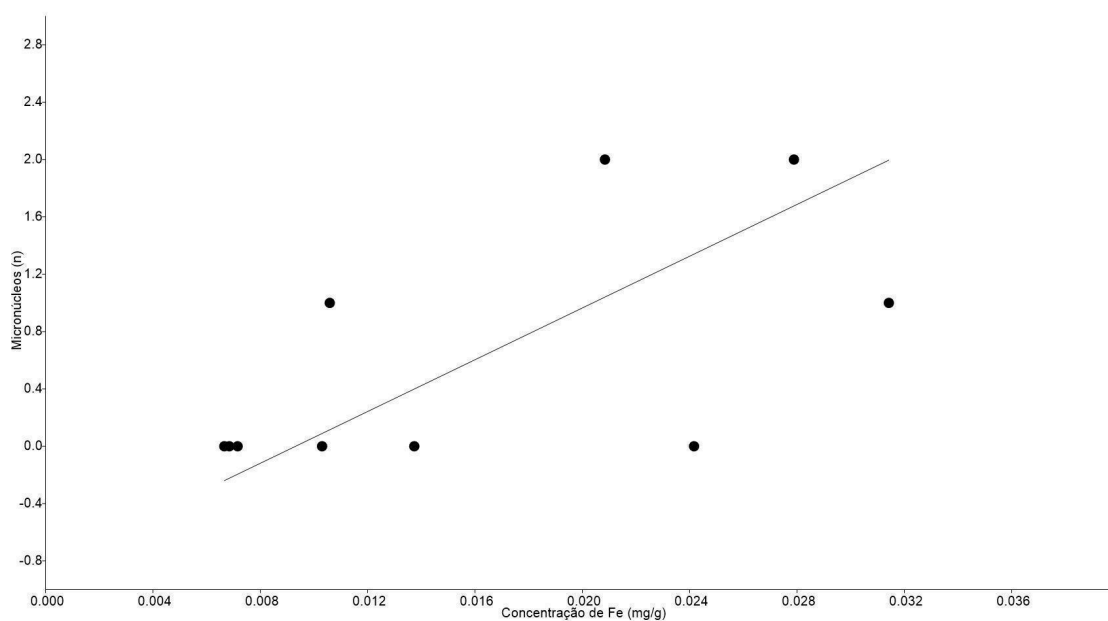


Figura 5: Regressão linear entre o números de micronúcleos e as concentrações de ferro em *T. atlanticus*.

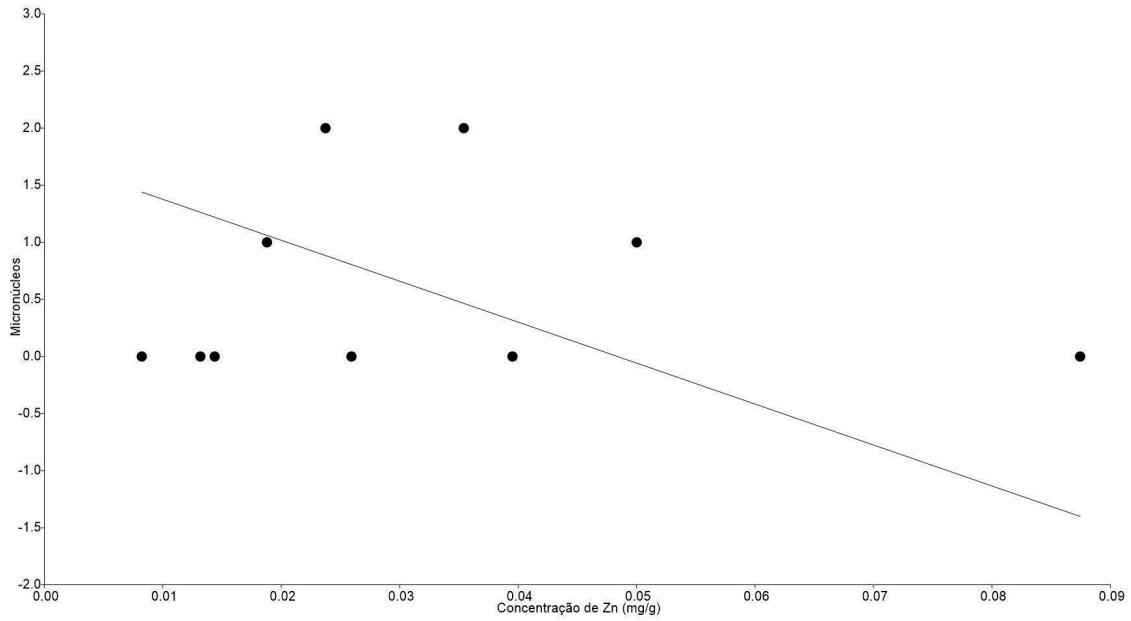


Figura 6: Regressão linear entre o números de micronúcleos e as concentrações de zinco em *T. atlanticus*.

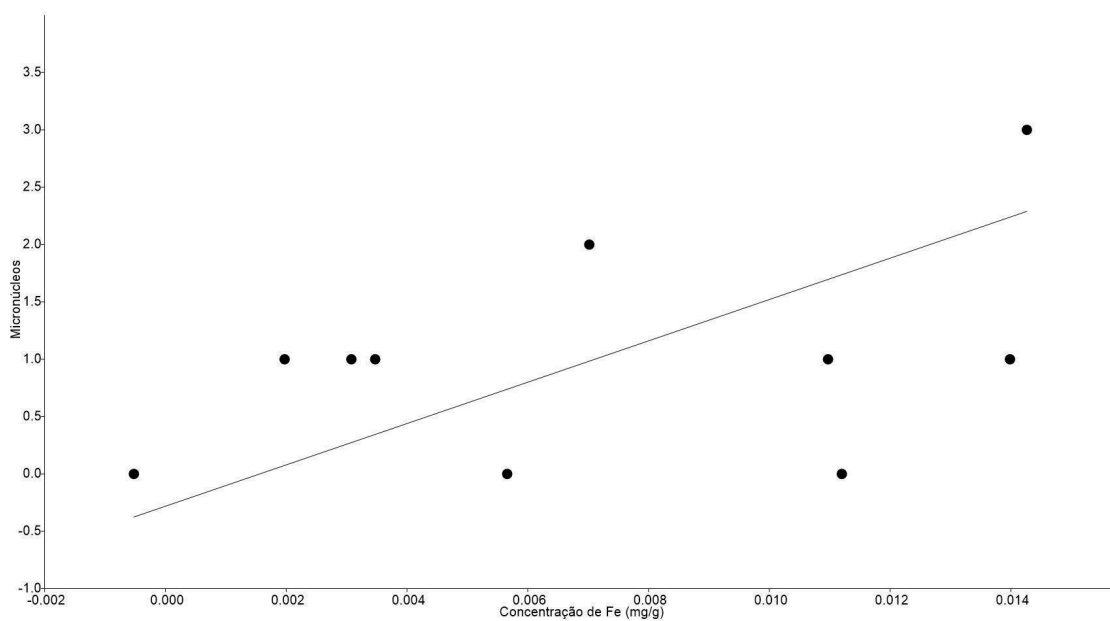


Figura 7: Regressão linear entre o números de micronúcleos e as concentrações de ferro em *A. solandri*.

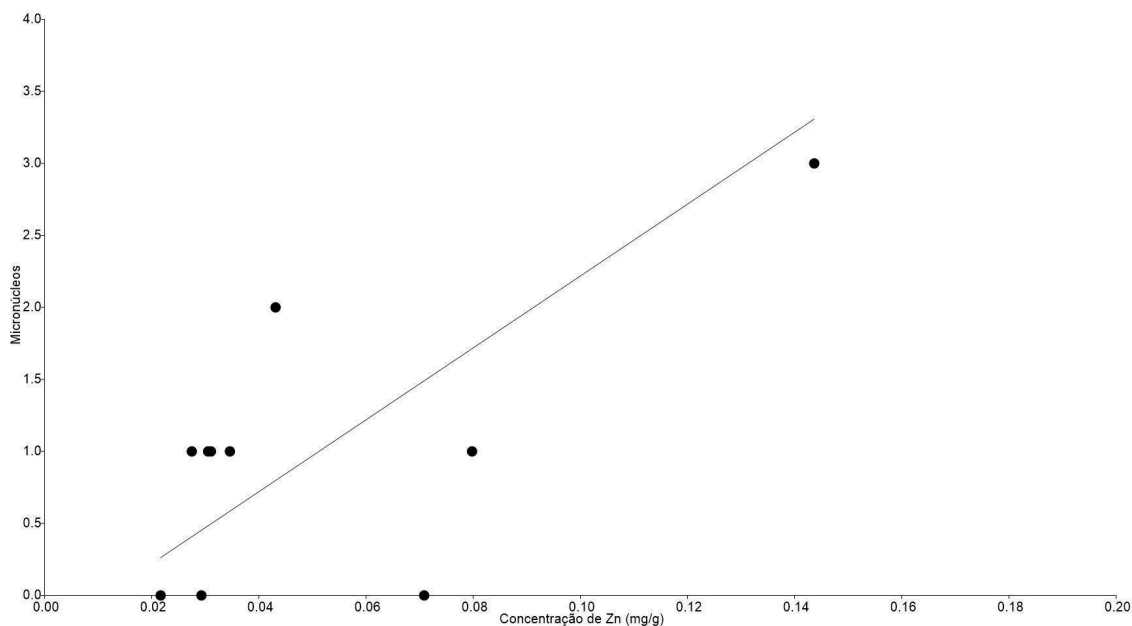


Figura 8: Regressão linear entre os números de micronúcleos e as concentrações de zinco em *A. solandri*.

Os limites máximos de detecção para cada elemento foram Fe (mg/kg) e Zn (mg/kg). O Zn apresentou concentrações abaixo do limite máximo tolerável de 50 mg/kg estabelecido pela ANVISA, não apresentando danos à saúde. Para o ferro, não foram encontrados valores de referência estabelecidos para o Brasil (mg/kg). Os valores obtidos neste estudo estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Comparação de concentração em mg/kg de Fe e Zn nas duas espécies estudadas e limites máximos de tolerância estabelecidos para contaminantes inorgânicos, segundo a ANVISA. Fonte: Decreto nº 5.871/65, Brasil; RDC nº 42/2013, Brasil.

<b>Família/Espécie</b>	<b>Fe (mg/kg)</b>	<b>Zn (mg/kg)</b>	<b>Zn (mg/kg) ANVISA</b>
<b>Scombridae</b>			
<i>Thunnus atlanticus</i>	16.516	24.73	50.00
<i>Acanthocybium solandri</i>	6.851	38.448	50.00

## DISCUSSÃO

O peixe é conhecido por ser um bioindicador propício de contaminações por metais pesados, tendo suas partes integrantes de maior absorção compostas por suas brânquias, superfície do corpo, trato digestivo, músculo e fígado (Mukherjee et al. 2022). O consumo de peixes com elevados níveis de metais pesados geram alta toxicidade à saúde humana alterando o metabolismo de funcionamento de diversos órgãos vitais. A exposição a longo prazo resulta em processos degenerativos físicos, teciduais e neurológicos (Liang et al 2022). Já em seres humanos, níveis baixos de metais pesados podem ser encontrados no ambiente e nos alimentos e são necessários para a boa saúde e funcionamento do corpo, entretanto, em grandes quantidades sua toxicidade pode esgotar energia e afetar o cérebro, pulmões, rins, fígado, sangue e outros órgãos vitais. A exposição a longo prazo eventualmente resulta em processos físicos, teciduais e neurológicos degenerativos (Prasannajit et al, 2023).

O estudo traz informações essenciais sobre os níveis de contaminação de dois elementos em espécies de peixes altamente consumidas. Com isso, a Figura 2 e 3 apresenta os teores médios de cada metal, bem como as variações encontradas nas espécies analisadas. Embora exista certa variação com relação aos níveis de metais entre

*T. atlanticus* e *A. solandri*, se pode observar que, de maneira geral, os resultados do metal Zn não trazem riscos à saúde humana através do consumo. Já o metal Fe não foram encontrados valores de referência estabelecidos para o Brasil (mg/kg) do pescado

A quantidade de micronúcleos encontradas no *T. atlanticus* (6) e *A. solandri* (10) não têm relação com o aumento das concentrações de Fe e Zn. Segundo Serrão et al. (2014) a variação de concentração dos elementos determinados nas espécies de pescado pode ser devida a diversos fatores, como o tamanho, nível trófico e exigência metabólica.

O Fe participa de processos hepáticos, e também está associado ao transporte de oxigênio através da hemoglobina, sendo considerado um dos elementos mais importantes para o ser humano. Podemos observar que estes peixes podem ser considerados fonte deste mineral. Isto se deve ao fato de este mineral estar presente em grande quantidade, no solo, água, atmosfera e processos industriais. Entretanto, este elemento não possui limites máximos estipulados pelos órgãos responsáveis, tornando difícil a sua discussão (Birungi et al. 2007)

O Zn foi visto em maior quantidade entre as duas espécies avaliadas, pois os peixes são ricos em microelementos, como selênio, flúor e zinco (Usydus et al. 2008). O consumo desse metal em grande quantidade pode causar envenenamento de seres humanos. Além de promover o atraso do crescimento e maturação (Lima et al. 2002).

A bioacumulação e as propriedades tóxicas dos metais dependem em grande parte tanto de suas próprias características quanto das condições ambientais, que controlam a biodisponibilidade desses metais (Moiseenko et al. 2020). Estudos como esse permitem compreender os efeitos da contaminação local sobre o acúmulo de metais nos peixes. Levando em conta como um pequeno aumento nos níveis de concentração de metais na água pode afetar a bioacumulação desses metais pelos peixes



(Elvis et al. 2023), e em baixas concentrações de metais na água, suas propriedades tóxicas são dependentes de fatores ecológicos como pH e concentrações de cálcio e ligantes orgânicos. A literatura traz que a bioacumulação e as propriedades tóxicas se manifestam mais claramente em água pouco alcalina (Moiseenko et al. 2020).

Os metais pesados são elementos com maiores densidades e massas atômicas, como o Fe e o Zn, que podem afetar seres vivos e o meio ambiente e são perigosos mesmo em baixas concentrações devido a sua não biodegradabilidade. (Mukherjee et al 2022). As principais razões para o aumento da toxicidade ambiental devido aos metais pesados são fatores humanos e antropogênicos.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Marinha do Brasil e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Finance code 001, pelo apoio financeiro necessário à execução deste projeto, através dos editais Projeto Arquipélago e Ilhas Oceânicas, Chamada CNPq - N° 31/2019. Também agradecemos ao coordenador do projeto Prof. Thales Renato Ochotorena de Freitas pela oportunidade de entregar ao presente projeto e Lucas Milmann de Carvalho pelo auxílio em campo.

## **REFERÊNCIAS**

ANVISA (Brasil). Resolução nº 42 de 29 de agosto de 2013. Limites máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos. Diário Oficial da República do Brasil, Brasília, DF, n. 168.

AL-SABT K & METCALFE CD. 1995. Fish micronuclei for assessing genotoxicity in water. *Mutat Res* 343:121–135.

ARAÚJO CV & CEDENO-MACIAS LA. 2016. Heavy metals in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and common dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) landed on the Ecuadorian coast. *Sci. Total Environ.* 541, 149–154.

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

CAJUSTE LJ, CARRILLO GR, COTA GE & LAIRD RJ. 1991. The distribution of metals from wastewater in the Mexican Valley of Mezquital. *Water, Air, and Soil Pollution*, p. 763-771.

CAMPOS TFC, NETO JV, SRIVASTAVA NIK, HARTMANN LA, MORAES JFS, MENDE L & SILVEIRA SRM. 2005. Arquipélago de São Pedro e São Paulo: Surgimento tectônico de rochas infracrustais no Oceano Atlântico, 1-12.

CAMPOS TFC, BEZERRA FHR, SRIVASTAVA NK, VIEIRA MM & VITA-FINZI C. 2010. Holocene tectonicuplift of the St Peter and St Paul rocks (Equatorial Atlantic) consistent with emplacement by extrusion. *Marine Geology*, v. 271, 177-186.

COLLETTE BB & NAUEN CE. 1983. FAO species catalogue Scombridae of the World An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date. *FAO Fish. Synop.* 2: 125-137.

CRUZ MM, HOFFMANN LS & FREITAS TRO. 2022. Saint Peter and Saint Paul Archipelago barcoded: Fish diversity in the remoteness and DNA barcodes reference library for metabarcoding monitoring. *Genetics and molecular biology (Online version)*, 45, e20210349 p.

DORNELLES FN. 2016. Avaliação de cobre e zinco em água, sedimento e peixes do Rio Apucarantina na região da Terra Indígena Apucarana (Tamarana, PR). *Dissertação*

de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Londrina.

ELVIS N, CHARLES MB, OBED A, MAURICE OE & EDEM M. 2023. Potential human health risks associated with ingestion of heavy metals through fish consumption in the Gulf of Guinea. *Toxicology Reports*, v.10, n.1, 117-123 p..

FENECH M. 2000. The in vitro micronucleus technique. *Mutation Research* 455: 81–95.

FROESE R & PAULY D. 2019. FishBase. Disponível em: <http://fishbase.org>. Acesso em: junho de 2024.

GUÉRIN T, CHEKRI R, VASTEL C, SIROT V, VOLATIER J, LEBLANC J & NOEL L. 2011. Determination of 20 trace elements in fish and other seafood from the French market. *Food Chemistry*, n. 127, 934-942 p.

GOMES MVT & SATO Y. 2011. Avaliação da contaminação por metais pesados em peixes do Rio São Francisco à jusante da represa de Três Marias, Minas Gerais, Brasil. *Revista Saúde e Ambiente*, v. 6, n. 1, 24 - 30 p.

GROTTO HZW. 2008. Metabolismo do ferro: uma revisão sobre os principais mecanismos envolvidos em sua homeostase. *Revista Brasileira de Hematologia e Hemoterapia*, v. 30, n. 5, 390-397 p

IBAMA. 2017. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Lista de peixes marinhos e estuarinos permitidos à captura, 2017. Disponível em: [lista de peixes marinhos e estuarinos permitidos à captura \(ibama.gov.br\)](http://lista.de.peixes.marinhos.e.estuarinos.permitted.to.capture(ibama.gov.br)). Acessado em: junho de 2024.

LIANG C, JI L, XIANGYUN G, BIAO T, JIAWEN Z, XIAONAN W & ZHENGTAO L. 2022. Human health ambient water quality criteria for 13 heavy metals and health

risk assessment in Taihu Lake. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*. v.16, n.4, 1-16 p.

LIMA RGS et al. 2002. Evaluation of Heavy Metals in Fish of the Sepetiba and Ilha Grande Bays, Rio de Janeiro, Brazil. *Environmental Research Section A*, v. 89, 171-179 p.

LIMA VE & MERCON F. 2011. Metais pesados no ensino de Química. *Química Nova na Escola*, v. 33, n. 4.

MACEDO SJ, FLORES-MONTES MJ & COSTA KMP. 2009. Hidrologia. In: Viana, D.L. et al. (orgs.). *O arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de estação científica*. SECIRM, Brasília, 100–105 p.

MAFRA D & COZZOLINO SMF. 2004. Importância do zinco na nutrição humana. *Artigos de Revisão, Rev. Nutr.* 17 (1)

MARCENIUK AP, CAIRES RA, WOSIACKI WB & DI DARIO F. Knowledge and conservation of the marine and estuarine fishes (*Chondrichthyes and Teleostei*) of the north coast of Brazil. *Biota Neotrop* 13(4).

MATHIEU H, PAU C & REYNAL L. 2013. Thon a nageoires noires. *Manual ICCAT*. Comissão Internacional para a Conservação do Atum do Atlântico. Capítulo 2.1.10.7.

MENEZES NA et al. 2003. *Catálogo Peixes Marinhos do Brasil*. São Paulo: Museu de Zoologia, USP. 2003. Disponível em: Menezes Et Al - 2003 - Catálogo Peixes Marinhos - Brasil | PDF | Biodiversidade | Espécies (scribd.com) . Acessado em: junho de 2024.

MENDONÇA SA. 2018. Aspectos populacionais, uso do habitat e movimentação de *Mobula tarapacana* (Philippi, 1892) (*Chondrichthyes: Mobulidae*) no arquipélago de São Pedro e São Paulo, Brasil.

MORAES DSL & JORDÃO BO. 2002. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. *Revista Saúde Pública*, v. 36, n. 3, 370 - 374 p.

MUKHERJEE J & SAHA NCK. 2022. Bioaccumulation pattern of heavy metals in fish tissues and associated health hazards in human population. *Environmental Science and Pollution Research*, v.29, n.15, 21365–21379 p.

NKWUNONWO UC, ODIKA PO & ONYIA NI. 2020. A review of the health implications of heavy metals in food chain in Nigeria. *The Scientific World Journal*.

OEHLENSCHLAGER J. 2002. Identifying heavy metals in fish. In H. BREMMER, A. (Ed.). *Safety and quality issues in fish processing*. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 95-113 p.

OMS - Organização Mundial da Saúde. Disponível: <<http://www.who.int/en/>>. Acesso em: 22 maio 2024.

OXENFORD HA, MURRAY PA & LUCKHURST BE. 2003. The biology of wahoo (*Acanthocybium solandri*) in the western central Atlantic. *Gulf Caribb. Res.* 15: 33-49.

PAULA M. 2006. Inimigo invisível: metais pesados e a saúde humana. *Tchê-Química*, v. 3, n. 6, 37-44 p.

PINHEIRO HT et al. 2020. Fish biodiversity of Saint Peter and Saint Paul's Archipelago, Mid-Atlantic Ridge, Brazil: New records and a species database. *J Fish Biol* 97:1143-1153.

PRASANNAJIT A, PRADIPTA R, MUDULI A & MIRA D. 2023. Assessment of heavy metal accumulation in *Penaeus monodon* and its human health implications. *Marine Pollution Bulletin*, v.188, n.1, 114632-1146351 p.

RIVERO CLG. 2007. Perfil da frequência de micronúcleos e de danos no DNA de diferentes espécies de peixes do Lago Paranoá, Brasília, DF, Brasil. Dissertação

apresentada à pós-graduação em patologia molecular da Universidade Nacional de Brasília.

ROCHA BCP. 2011. Relações entre acúmulo de metais em tecido muscular de peixes com diferentes hábitos alimentares coletados na Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande, Estado de São Paulo, Brasil. 2011. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, Programa de Pós-Graduação em Química, Campus de São José do Rio Preto, São Paulo.

SERRÃO CRG, PONTES AN, DANTAS KGF, FILHO HAD, PEREIRA JB, NUNES PO, CARVALHO FIM & PALHETA DC. 2014. Biomonitoramento de Elementos Metálicos em Peixes de Água Doce da Região Amazônica. *Revista Virtual Química*, v. 6, n. 6, 1161-1676 p.

SEYLER PT & BOAVENTURA GR. 2003. Distribution and partition of trace metals in the Amazon basin. *Hydrological Processes*, v. 17, 1345-1361 p.

SOARES J, OLIVEIRA AP, SKIELKA UT & SERVAIN J. 2009. O ar. In: Hazin F.H.V. (Ed.) *O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de estação científica*. Brasília: SECIRM, 38–44 p.

SOARES KMP. & GONÇALVES AA. 2012. Qualidade e segurança do pescado. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, v. 71, n. 1, 1-10 p.

SOUZA GR, GARCEZI MAP, SANTOS VCG, SILVA DB, CAETANO J & DRAGUNSKI DC. 2009. Quantificação de metais pesados em peixes de um pesqueiro localizado na cidade de Umuarama. *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da Unipar*, v. 12, n. 1, 61-66 p.

TAWARI-FUFERYIN P & EKAYE SA. 2007. Fish species diversity as indicator of pollution in Ikpoba river, Benin City, Nigeria. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, v. 17, 21-30 p.

TOMAZELLI AC, MARTINELLI LA, AVELAR WEP, CAMARGO PB, FOSTIER AH, FERRAZ ESB, KRUNG FJ & SANTO JRD. 2003. Biomonitoring of Pb and Cd in Two Impacted Watersheds in Southeast Brazil, Using the Freshwater Mussel *Anodontites trapesialis* (Lamarck, 1819) (Bivalvia : Mycetopodidae) as a Biological Monitor. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 46, 673-684 p.

USYDUS Z, SZLINDER-RICHERT J, POLAK-JUSZCZAK L, KANDERSKA J, ADAMCZYK M, MALESA-CIECWIERZ M & RUCZYNSKA W. 2008. Food of marine origin: between benefits and potential risks: part I: canned fish on the polish market. *Food Chemistry, Amsterdam*, v. 111, 556-563 p.

VASKE-JÚNIOR T, VOOREN CM & LESSA RP. 2003. Feeding strategy of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*), and wahoo (*Acanthocybium solandri*) in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Brazil. *Boletim do Instituto de Pesca, São Paulo*, 29, 173-181.

VIANA D, HARZIN FHV, NUNES DM, CARVALHO FC, VÉRAS DP & TRAVASSOS P. 2008. Wahoo *Acanthocybium solandri* fishery in the vicinity of Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Brazil, from 1998 to 2006. *Collect. Vol, Sci. Pap. ICCAT*. 62: 1662-1670.

VOIGT CL, SILVA CP & CAMPOS SX. 2016. Avaliação da bioacumulação de metais em *Cyprinus carpio* pela interação com o sedimento e água de reservatório. *Química Nova*, v. 39, n. 2, 180-188 p.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi realizado avaliações das concentrações de Fe e Zn em duas espécies de peixes marinhos consumidas pelos seres humanos, o atum, *Thunnus atlanticus* e a cavala, *Acanthocybium solandri*. Além disso, buscamos compreender a genotoxicidade destes metais por meio da determinação da frequência de micronúcleos nestas espécies e sua correlação com os níveis de concentração dos respectivos metais. Frente aos dados oferecidos pela Anvisa e OMS, sobre o limite de consumo de peixes contaminados. Inicialmente vamos avaliar metais não essenciais e oligoelementos, mas foi necessário realizar uma nova abordagem do projeto com um novo equipamento, porque o equipamento ICP-OES da Universidade Federal da Fronteira Sul quebrou, impossibilitando que fizéssemos as leituras necessárias para os metais propostos. Todas as amostras estão acondicionadas, aguardando a oportunidade de realizar as leituras dos elementos que faltaram.

O presente estudo trouxe, portanto, novas informações a respeito da concentração de dois metais, Zn e Fe, em peixes oceânicos de importância comercial da região Atlântica equatorial do ASPSP. Após as análises realizadas foi possível observar que os valores obtidos para o Zn estavam dentro dos limites máximos definidos para o consumo. Já o Fe, não encontramos valores estabelecidos para o consumo. Os valores elevados de concentração dos metais representam um risco para os consumidores de pescado já que esta população consome quantidades maiores de pescado, aumentando o risco associado ao consumo e devido à importância desta área para a comunidade pesqueira.