



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO (MESTRADO) EM RECURSOS AQUÁTICOS E
PESCA

ALEF FONTINELE TEIXEIRA

**BIOMARCADORES HISTOLÓGICOS EM *Sciades herzbergii* EM REGIÕES
PORTUÁRIAS E ÁREAS PROTEGIDAS NA BAÍA DE SÃO MARCOS,
MARANHÃO**

São Luís – MA

2021

ALEF FONTINELE TEIXEIRA

**BIOMARCADORES HISTOLÓGICOS EM *Sciades herzbergii* EM REGIÕES
PORTUÁRIAS E ÁREAS PROTEGIDAS NA BAÍA DE SÃO MARCOS,
MARANHÃO**

Documento de dissertação apresentado em
cumprimento às exigências do Programa de
Pós-Graduação em Recursos Aquáticos e Pesca
da Universidade Estadual do Maranhão.

Orientador (a): Prof. Dr. Raimunda Nonata
Fortes Carvalho-Neta

São Luís – MA

2021

Teixeira, Alef Fontinele

Biomarcadores histológicos em *Sciades herzbergii* em regiões portuárias e áreas protegidas na Baía de São Marcos, Maranhão. / Alef Fontinele Teixeira. – São Luís (MA), 2021.

50p.

Dissertação (Pós-Graduação em Recursos Aquáticos e Pesca) Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, 2021.

Orientadora: Profa. Dra. Raimunda Nonata Fortes Carvalho-Neta

Elaborado por Luciana de Araújo - CRB 13/445

ALEF FONTINELE TEIXEIRA

**BIOMARCADORES HISTOLÓGICOS EM *Sciades herzbergii* EM
REGIÕES PORTUÁRIAS E ÁREAS PROTEGIDAS NA BAÍA DE SÃO
MARCOS, MARANHÃO**

Documento de dissertação apresentado em
cumprimento às exigências do Programa de
Pós-Graduação em Recursos Aquáticos e
Pesca da Universidade Estadual do
Maranhão.

Aprovada em: 05/03/2021

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **RAIMUNDA NONATA FORTES CARVALHO NETA**
Data: 08/04/2024 15:52:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Raimunda Nonata Fortes Carvalho-Neta
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Orientadora

Documento assinado digitalmente
 **ERIVANIA GOMES TEIXEIRA**
Data: 13/04/2024 10:59:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Erivânia Gomes Teixeira

Programa de Pós-Graduação Mestrado em Recursos Aquáticos e Pesca (UEMA)

2º Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **MARIANNA BASSO JORGE**
Data: 16/04/2024 16:20:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Marianna Basso Jorge

PPOC - Programa De Pós-Graduação Em Oceanografia/CCBS

3º Examinadora

Dedico aos meus pais, Lurdiner Pereira Fontinele e José Bento Teixeira, que sempre me incentivaram e fizeram o possível e impossível para eu estudar e graças a eles cheguei onde cheguei. Vitória nossa meus pais!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e pela força que me forneceu para eu chegar até aqui mesmo em meio a tantas dificuldades.

Agradeço aos meus pais pelo incentivo de sempre, desde os primeiros anos escolares até o presente momento.

Agradeço imensamente a professora Raimunda Nonata Fortes Carvalho-Neta por não apenas ser uma excelente e presente orientadora, mas também por ser exemplo de profissional, que me inspira a continuar com meus trabalhos.

Agradeço aos meus amigos que compreenderam esse período que estive afastado durante a produção da dissertação e pelo apoio de sempre. Sou grato ainda por eles não fazerem cobranças e me fornecendo uma relação saudável, o que ajudou muito em minha sanidade mental.

Dentre os amigos, agradeço a Luan Gomes e Lucas Costa, que me ajudaram muito em compromissos do meu time de e-sports “Team Phoenix”.

Agradeço aos meus melhores, Emerson Correia e Kelvin Candeira por sempre estarem dispostos a uma conversa e uma palavra de sabedoria e alento.

Agradeço ainda as minhas amigas dos tempos de Oceanografia, Kalyne Cardoso, Karla Guterres, Mônica Padilha, Marcelly Carvalho e Daniel Richard “Dan Dan” Brito.

Por fim não poderia deixar de agradecer aos meus colegas queridos da turma PPGRAP 2019, que me acompanharam e me ajudaram muito até aqui, não somente academicamente, mas com carinho e afeto. Dentre eles destaco Mayara Mourão, Alessa Ferreira e Guilherme Soares.

*“A ciência nunca resolve um problema sem
criar pelo menos outros dez. ”*

George Bernard Shaw

RESUMO

O Maranhão possui o maior complexo portuário do país em carga, que gera desenvolvimento econômico para o estado. No entanto, esta atividade vem causando prejuízo a organismos presentes na área. O presente estudo teve como objetivo analisar lesões branquiais e hepáticas como biomarcadores para a avaliação dos efeitos de contaminantes ambientais nas populações de *Sciades herzbergii* da Baía de São Marcos, Maranhão. As coletas foram realizadas no ano de 2018 na região portuária (A1) e na Ilha dos Caranguejos (A2), durante os períodos chuvoso e estiagem, a fim de identificar possíveis variações sazonais. Um total de 76 peixes foram coletados e retirado suas medidas morfométricas, comprimento total (Lt), peso total (Wt) e peso das gônadas (Wg), a fim de realizar relação peso-comprimento e índice gonadossomático (IGS). Brânquias e fígados passaram pelo procedimento histológico de rotina para identificar possíveis lesões por exposição a contaminantes. Análises das brânquias mostraram alta incidência de lesões em ambos os sexos na região portuária em ambos os períodos, principalmente no período chuvoso. Foi observado quantidade elevada de lesões do tipo necrose em machos. Nos organismos da Ilha dos Caranguejos foram observadas lesões branquiais, mas com baixa incidência. Análise dos fígados, de peixes da região portuária demonstrou maior número de respostas no período chuvoso. Já na Ilha dos Caranguejos não foram encontradas lesões no fígado. As medidas morfométricas apresentaram variação entre sexos, locais e períodos. Maiores médias de comprimento e peso foram encontrados durante o período de estiagem. Fêmeas apresentaram maiores médias de peso e comprimento. Indivíduos de A1 tiveram maiores médias de comprimento e A2 maiores médias de peso. Os valores médios de K foram maiores durante a estiagem e fêmeas apresentaram maiores valores que machos. O fator de condição (K) sempre apresentou valores maiores em A2. Em A1, os valores de IGS foram baixos e os de A2 elevados. Machos apresentaram os menores valores. Indivíduos capturados durante o período chuvoso apresentaram valores maiores de IGS, porém não foi considerado significativo. *S. herzbergii* capturados na região portuária estão sendo afetados por lesões branquiais, hepáticas e estão com desenvolvimento gonadal prejudicado.

PALAVRAS-CHAVE: Brânquias. Fígado. IGS. Medidas morfométricas. Maranhão.

ABSTRACT

Maranhão has the largest port complex in the country, which generates economic development for the state. However, this activity has caused harm to organisms present in the area. The present study aimed to analyze gill and liver lesions as biomarkers for evaluating the effects of environmental contaminants on *Sciades herzbergii* populations in São Marcos Bay, Maranhão. The collections were carried out in 2018 in the port region (A1) and on Ilha dos Caranguejos (A2), during the rainy and dry periods, in order to identify possible seasonal variations. A total of 76 fish were collected and their morphometric measurements, total length (Lt), total weight (Wt) and gonad weight (Wg) were taken, in order to perform the weight-length relationship and gonadosomatic index (IGS). Gills and livers underwent routine histological procedures to identify possible injuries due to exposure to contaminants. Analysis of the gills showed a high incidence of injuries in both sexes in the port region in both periods, especially in the rainy season. A high number of necrosis-type lesions was observed in males. Gill lesions were observed in organisms from Ilha dos Caranguejos, but with a low incidence. Analysis of the livers of fish from the port region demonstrated a greater number of responses during the rainy season. On Crab Island, no liver lesions were found. Morphometric measurements varied between sexes, locations and periods. Higher average length and weight were found during drought. Females presented higher values than males. Individuals from A1 had higher average length and A2 had higher average weight. The average K values were higher during the drought and females presented higher values than males. The condition factor (K) always presented higher values in A2. In A1, the IGS values were low and those in A2 were high. Males presented the lowest values. The rainy season presented higher GSI values, but this was not considered significant. *S. herzbergii* captured in the port region are affected by gill and liver lesions and have impaired gonadal development.

KEYWORDS: Gills. Liver. IGS. Morphometric measurements. Maranhão.

LISTAS DE FIGURAS

- Figura 1 - Localização de captura do *S. herzbergii*, no Porto do Itaqui (A1) e Ilha dos Caranguejos (A2). 23
- Figura 2 - Fotomicrografia das brânquias de *Sciades herzbergii*. (A) aneurisma; (B) deslocamento do epitélio; (C) fusão de lamelas primárias; (D) necrose. 31
- Figura 3 - Fotomicrografia do fígado de *S. herzbergii*. (A) centro de melanomacrófagos; (B) necrose. 32

LISTAS DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 -	Padrão utilizado para obtenção do valor de pontuação (a) de cada espécie atribuído de acordo com o número total de lesões observadas	25
Quadro 1 -	Valores totais de lesões branquiais em fêmeas e machos de <i>Sciades herzbergii</i> capturados no Porto do Itaqui (A1) e Ilha dos Caranguejos (A2) durante os períodos chuvosos e de estiagem.	27
Quadro 2 -	Valores totais de lesões hepáticas em machos e fêmeas na região portuária (A1) durante os períodos chuvoso e de estiagem.	27
Quadro 3 -	Índice de órgãos (Iorg) para brânquias e fígados na região portuária (A1) e na Ilha dos Caranguejos (A2) durante os períodos chuvoso e de estiagem	28
Quadro 4 -	Valores médios e desvio padrão para comprimento total (Lt), peso total (Wt) e peso das gônadas (Wg) em fêmeas e machos de <i>S. herzbergii</i> capturados no Porto do Itaqui (A1) e Ilha dos Caranguejos (A2) durante os períodos chuvoso e estiagem. Em asterisco, onde teste t indicou diferenças entre os locais.	29
Quadro 5 -	Valores médios e desvio padrão para índice de correlação (R^2), fator de condição (K) e índice gonadossomático (IGS) em fêmeas e machos de <i>Sciades herzbergii</i> capturados no Porto do Itaqui (A1) e Ilha dos Caranguejos (A2) e durante os períodos chuvoso e de estiagem.	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1 MONITORAMENTO AMBIENTAL EM REGIÕES ESTUARINAS.....	16
3.2 BIOMONITORAMENTO COM USO DE PEIXES	17
3.3 BIOMARCADORES EM ORGANISMOS AQUÁTICOS	19
3.4 <i>Sciades herzbergii</i> (BLOCH, 1974).....	22
4 MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	23
4.2 LICENÇA E COMITÊ DE ÉTICA	24
4.3 COLETA DOS ESPÉCIMES E BIOMETRIA	24
4.4 HISTOLOGIA DOS TECIDOS.....	24
4.5 RELAÇÃO PESO-COMPIMENTO E FATOR DE CONDIÇÃO (K)	25
4.6 ÍNDICE GONADOSSOMÁTICO (IGS)	26
4.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	26
5 RESULTADOS	26
5.1 BIOMARCADORES BRANQUIAIS	26
5.2 BIOMARCADORES HEPÁTICOS	27
5.3 ÍNDICES DE LESÕES HISTOLÓGICAS.....	28
5.4 BIOMETRIA DA ESPÉCIE	28
5.5 RELAÇÃO PESO-COMPIMENTO, FATOR DE CONDIÇÃO (K) E ÍNDICE GONADOSSOMÁTICO (IGS).....	29
6 DISCUSSÃO	30
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	34

1 INTRODUÇÃO

O complexo portuário é um empreendimento de grande importância econômica para o estado do Maranhão (Pinheiro-Sousa *et al.*, 2022). Na capital São Luís, está inserido o maior complexo portuário em carga do país, o Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, com total de carga no ano de 2023 de 166,3 milhões de toneladas (ANTAQ, 2024). Integra este complexo o Porto do Itaqui, que se caracteriza como um porto de águas profundas e possui um posicionamento geográfico estratégico e privilegiado, atendendo à demanda logística do Nordeste, Norte e Centro-Oeste (EMAP, 2019). No ano de 2023 o Porto do Itaqui teve movimentação de cargas de 36,3 milhões de toneladas, um volume 8,22% maior do que a movimentação no ano anterior (ANTAQ, 2024).

Nos últimos anos a contaminação química causada por resíduos portuários vem representando uma ameaça à sanidade dos organismos aquáticos na região portuária maranhense (Soares *et al.*, 2020; Pinheiro-Sousa *et al.*, 2021, Torres *et al.*, 2023; Macedo *et al.*, 2024). Apesar da EMAP, administradora do Porto do Itaqui, se comprometer em cumprir as exigências ambientais, trabalhos realizados na região demonstraram resultados positivos para mudanças nas estruturas físicas e comportamentais de peixes e caranguejos (Carvalho-Neta *et al.*, 2012, 2014, 2017; Castro *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2019).

Biomarcadores histológicos de brânquias e fígados em peixes vem sendo utilizado como indicativo de alterações em ambientes aquáticos, pois a exposição desses órgãos a xenobióticos pode causar mudanças histológicas. Brânquias estão em contato direto com os poluentes e são a principal superfície corporal envolvida nas trocas gasosas (Hughes, 1982), desempenhando papel vital na osmorregulação, regulação ácido-base e excreção de substâncias nitrogenadas (Goss *et al.*, 1998). O fígado é um órgão desintoxicador essencial para o metabolismo e a excreção de substâncias tóxicas (Hinton; Laurén, 1990).

A avaliação dos efeitos causados por contaminantes pode ser feita nos mais variados níveis biológicos, desde celular até lesões externas (Van Der Oost; Beyer; Vermeulen, 2003; Rangunathan, 2017). Porém, alterações a níveis subletais alertam precocemente de alterações que podem ocorrer futuramente na população (Jerome *et al.*, 2017). Na baía de São Marcos, análises histopatológicas têm demonstrado eficiência nos programas de monitoramento em ambientes aquáticos (Carvalho-Neta *et al.*, 2012; Oliveira *et al.*, 2019).

Agentes estressores químicos, físicos ou biológicos induzem reações nos tecidos das brânquias, causando distúrbios circulatórios como congestão, aneurisma, edema e ainda proliferação de células como a hiperplasia epitelial e de células mucosas, além de processos

inflamatórios que podem levar a necrose dos tecidos (Garcia-Santos *et al.*, 2007; Fontaínhas-Fernandes *et al.*, 2008; Roques *et al.*, 2015).

O fígado é um órgão que tende a acumular substâncias tóxicas em concentrações superiores aos da corrente sanguínea, em função do alto grau de vascularização e importância fisiológica e toxicocinética (Pedrozo *et al.*, 2002). Dentre as alterações histológicas no fígado, são comumente reconhecidos vacuolização dos hepatócitos, degeneração gordurosa do fígado, alterações na atividade metabólica, alterações no parênquima hepático e necrose (Raskovic *et al.*, 2011), além da presença de centros de melanomacrófagos.

Dentre os biomonitores, destaca-se no meio aquático o uso de peixes, pois estão presentes em vários ambientes, apresentam ampla distribuição geográfica e participam de diferentes níveis tróficos da cadeia alimentar, sendo considerados excelentes modelos biológicos de estudo (Jesus; Carvalho, 2008). Uma espécie que se adequa a esses critérios é o *Sciades herzbergii*, conhecido na região como bagre guribu, que possui histórico em trabalhos anteriores na região (Carvalho-Neta, 2010, 2012, 2014, 2017; Castro *et al.*, 2019; Pinheiro-Sousa, 2021). Pertencente à família Ariidae, ocorre em zonas litorâneas tropicais e subtropicais, em ambientes estuarinos, marinhos e de água doce, sendo geralmente abundante em águas costeiras com fundo lodoso e pouco profundo (Araújo; Teixeira; Oliveira, 2004). A espécie é estuarina-residente e ecologicamente estabelecida tanto em áreas protegidas quanto em áreas impactadas, portanto apropriada para análise de biomarcadores de contaminação aquática (Souza; Almeida; Carvalho-Neta, 2013).

Somado aos biomarcadores, as medidas morfométricas são ferramentas eficazes de avaliação e importantes para conhecer aspectos de crescimento dos peixes. A relação peso-comprimento (Lé Cren, 1951) é utilizada tanto para descrever o aumento em comprimento e consequente ganho em peso, quanto para estimar o fator de condição (Braga, 1986; 1993; Vazzoler, 1996), que indica quantitativamente o grau de hígidez do peixe, refletindo condições alimentares recentes e/ou gastos de reservas em atividades cíclicas. O índice gonadosomático expressa em porcentagem o peso das gônadas em relação ao peso total do indivíduo (Vazzoler, 1996) e possibilita determinar os estádios do ciclo reprodutivo, pois a maturação das células reprodutivas ocorrem juntamente com o aumento do peso das gônadas (Pereira *et al.*, 2004).

A contaminação química compromete comunidades aquáticas e impõe riscos a população humana que faz uso desses recursos de interesse econômico e fonte de proteína para as comunidades pesqueiras. O presente estudo teve como objetivo analisar lesões branquiais e hepáticas como biomarcadores para a avaliação dos efeitos de contaminantes ambientais nas populações de *Sciades herzbergii* da Baía de São Marcos, Maranhão.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar lesões branquiais como biomarcadores para a avaliação dos efeitos de contaminantes ambientais nas populações de *Sciades herzbergii* da Baía de São Marcos, Maranhão.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar se há diferenças significativas entre os locais e entre sexos para comprimento padrão, comprimento total, peso total, relação peso-comprimento, peso das gônadas e aIGS;
- Quantificar e comparar lesões branquiais e hepáticas dos peixes dos dois locais estudados;
- Verificar o efeito dos padrões pluviométricos da região sobre os parâmetros analisados

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 MONITORAMENTO AMBIENTAL EM REGIÕES ESTUARINAS

Mudanças nos habitats ou na abundância de espécies marinhas estão associadas geralmente a impactos antropogênicos, sobretudo em áreas costeiras com múltiplos usos, tornando difícil distinguir se essas modificações decorrem de um declínio natural das populações ou do efeito de tensores ambientais (COSTA et al., 2004). Em regiões tropicais, os intensos processos de expansão urbana, industrial e agropecuário têm causado pressão em zonas e bacias hidrográficas costeiras (BARLETTA et al., 2010 e BARBIER et al., 2011). Este desenvolvimento denota um cenário paradoxal nos estuários tropicais, uma vez que sustentam elevada biodiversidade, porém figuram entre os mais afetados pela ação humana a nível global. (BARLETTA et al., 2010, BARBIER et al., 2011).

Os organismos que compõem a biota aquática em ambientes estuarinos estão sujeitos a uma variedade de mudanças e impactos, o que implica na necessidade de conhecimento da dinâmica ambiental e das interações de natureza biológica para ajudar a identificar e separar os efeitos antropogênicos dos efeitos naturais. Tais impactos tendem a promover perda de biodiversidade e funções ecossistêmicas nos estuários, contribuindo para a invasão biológica, declínio da qualidade da água e a perda da proteção costeira contra, por exemplo, cenários de eventos climáticos extremos, como enchentes e tempestades (BARBIER et al, 2011).

Segundo Oliveira e Frédou (2011), o monitoramento dos processos ecológicos é essencial para gerar informações acerca da atual condição ambiental e suas tendências em séries temporais. Os autores acrescentam ainda que a diversidade biológica sofre perdas à medida que as condições ambientais são alteradas, sendo essencial buscar soluções que envolvam todo o sistema, considerando aspectos biológicos e seus processos ecológicos, nas devidas escalas.

No caso do Golfão Maranhense, as características geoambientais são bastante variadas, com amplitudes de maré bem acentuadas podendo chegar a 8 metros, nas marés de sizígia (RAMOS; CASTRO, 2004), influenciando na ocorrência de várias espécies. Também se ressaltam as condições de elevada turbidez gerada pela intensa atividade fluviomarinha, contribuindo para o elevado aporte de matéria orgânica à zona estuarina. Essas características favorecem a existência de uma heterogeneidade de elementos para a formação de uma cadeia alimentar, da qual se nutrem os peixes (SUDENE, 1983).

Mediante estas condições conflitantes de elevada produtividade primária, notável biodiversidade e intensas intervenções antrópicas, torna-se necessária a execução de constantes

avaliações nas zonas costeiras a fim de detectar e mensurar os impactos ocasionados pelas diversas atividades humanas.

3.2 BIOMONITORAMENTO COM USO DE PEIXES

Um bom biomonitor deve sobreviver em ambientes saudáveis, mas também apresentar resistência relativa ao contaminante que está exposto, ser taxonomicamente bem definido e facilmente reconhecível por não-especialistas, apresentar distribuição geográfica ampla, ter baixa variabilidade genética e ecológica, preferencialmente possuir tamanho grande, apresentar baixa mobilidade e longo ciclo de vida e dispor de características ecológicas bem conhecidas (JOHNSON et al., 1993).

Na perspectiva ecológica, a comunidade ictiofaunística desempenha importante função no balanço energético, dentro do sistema estuarino, através dos processos de transformação, condução, troca e armazenamento de energia nos vários níveis tróficos do ecossistema (YANEZ-ARANCIBIA et al., 1988). Por estes motivos, as comunidades de peixes são mais frequentemente usadas para avaliar ou monitorar mudanças em ambientes estuarinos (CASTRO et al., 2010).

Os peixes constituem um grupo de grande importância nas avaliações de toxicidade ambiental, pois além de estarem presentes em vários ambientes e apresentarem ampla distribuição geográfica, participam ainda de diferentes níveis tróficos da cadeia alimentar. Por serem organismos pertencentes ao topo da cadeia alimentar são comumente utilizados devido a intrínseca relação com toda a cadeia inferior, indicando respostas de efeitos crônicos, acumulativos e persistentes no nível de cadeia, além de efeitos diretos à nível individual (CARVALHO-NETA et al., 2014).

Os biomarcadores de peixes são excelentes ferramentas para monitorar a saúde do ecossistema aquático e têm sido incluídos em vários programas modernos de monitoramento ambiental (WALKER et al., 1996). A principal razão para sua utilização é o fato de fornecerem informações sobre os efeitos biológicos dos poluentes, bem como pistas sobre os mecanismos de ação dos contaminantes, e não correspondem apenas à quantificação desses poluentes no ambiente. Assim, os biomarcadores podem ser usados para identificar sinais iniciais de danos aos peixes, sugerir as relações de causa-efeito entre a exposição aos contaminantes e os efeitos observados e documentar os efeitos integrados do estresse químico nos animais.

A utilização de peixes como biomonitores ocorre através de testes ecotoxicológicos e estudos de estrutura populacional. Os testes ecotoxicológicos são as respostas de organismos

aquáticos a estressores específicos, tais como alterações bioquímicas, fisiológicas, comportamentais, metabólicas e do ciclo de vida (VAN DER OOST; BEYER; VERMEULEN, 2003). Desta forma, esta metodologia oferece uma visão mais individual e detalhada dos organismos, pois consiste em analisar as estruturas físicas do animal. A metodologia de estrutura populacional oferece uma visão mais ampla da espécie, demonstrando sua organização como comunidade. Os impactos são medidos a partir de alterações da organização estrutural e funcional das comunidades biológicas ou dos ecossistemas (BUSS; BAPTISTA; NESSIMIAN, 2003).

Em testes ecotoxicológicos a escolha de um órgão é crucial para a relevância dos dados obtidos. Alguns órgãos, como as brânquias, que apresenta contato direto com o poluente, o fígado e o rim, que metabolizam e excretam os xenobióticos, podem indicar alterações de ações agudas ou crônicas desses poluentes em tecidos animais (SANTOS et al., 2012; CARVALHO-NETA et al., 2014).

Em bagres, como na maioria dos teleósteos, a brânquia é a principal superfície corporal envolvida nas trocas gasosas (HUGHES, 1982). Desempenha papel crucial na regulação ácido-base, na osmorregulação e na excreção de substâncias nitrogenadas (GOSS et al., 1998). As consequências da ação de poluentes neste órgão-alvo podem desencadear processos degenerativos, necróticos e transtornos do crescimento celular (HIBIYA, 1982). Dessa maneira, as alterações histológicas encontradas nas brânquias são facilmente reconhecidas, tornando-se importante para determinar os danos causados devido a exposição dos peixes aos poluentes (ARELLANO; STORCH; SARASQUETE, 1999).

Estudos têm demonstrado que as exposições das brânquias a poluentes ambientais produzem alterações nos filamentos branquiais como o espessamento do epitélio filamentar, que podem advir da proliferação de células de cloro e de células indiferenciadas do epitélio. A proliferação celular pode conduzir à fusão parcial ou total das lamelas branquiais (REIS et al., 2009).

Devido a seu papel na metabolização de substâncias químicas, o fígado é um órgão que tende a acumular as substâncias tóxicas em concentrações superiores aos da corrente sanguínea, em função do alto grau de vascularização e importância fisiológica e toxicocinética (PEDROZO et al., 2002). Estudos de lesões hepáticas representam os exemplos mais convincentes de relação causal entre doenças em peixes e poluição do ambiente aquático (VAN DER OOST; BEYER; VERMEULEN, 2003).

Em estudos de estrutura populacional, a relação peso-comprimento é uma maneira fácil e rápida de descrever o crescimento e tem sido usada para converter comprimento em peso,

conhecendo-se o comprimento, ou vice e versa (NOMURA, 1962). Essa relação possibilita o estudo de fator de condição (BRAGA, 1986, 1993), considerado um índice que indica o nível de bem-estar do peixe.

A utilização de peixes estuarinos em estudos de biomonitoramento, principalmente os bagres por sua importância ecológica e econômica, pode torná-los um potencial modelo biológico para indicar contaminação ambiental nos ecossistemas aquáticos. Pesquisas executadas por Castro (2001) e Almeida (2008) nos sistemas estuarinos maranhenses, destacam as populações de peixes como os principais recursos potencialmente exploráveis. Estas observações são justificadas em função de uma alta densidade, notável biomassa disponível e pela expressiva fonte de suprimento alimentar de proteínas.

Dessa forma, a ampliação do conhecimento da ictiofauna em sistemas estuarinos, no que se refere à composição, abundância e diversidade, constitui um instrumento eficaz para auxiliar na gestão adequada desses recursos naturais, e dentro de uma perspectiva mais ampla, para o ordenamento integrado dos sistemas estuarinos presentes no Golfão Maranhense.

3.3 BIOMARCADORES EM ORGANISMOS AQUÁTICOS

Os ecossistemas aquáticos estão sob constante exposição de substâncias tóxicas. A poluição nesses ambientes é bastante difusa, porém as principais fontes de contaminação são os efluentes industriais, processos de drenagem agrícola (fertilizantes, agrotóxicos), derrames acidentais e não acidentais de lixo químicos (metais pesados, compostos orgânicos e inorgânicos) e efluentes domésticos (LINS et al., 2010), além de atividade portuária.

A partir da década de 1980, pesquisadores do mundo todo questionaram as metodologias tradicionais de classificação da qualidade da água baseada somente nas características físico-químicas e bacteriológicas. Questionou-se o fato de tais metodologias não serem capazes de distinguir as substâncias que afetam os sistemas biológicos e as que fazem parte do ambiente, sendo assim insuficientes para avaliar o potencial de risco ambiental dos contaminantes. Estes questionamentos culminaram na origem da toxicologia, ciência que estuda os efeitos nocivos causados por substâncias químicas sobre organismos vivos. Entende-se hoje que ambas as metodologias se complementam, sendo as análises físico-químicas essenciais para compreensão do ambiente e as análises toxicológicas fundamentais para compreender o efeito sobre os sistemas biológicos.

Dessa forma, as respostas biológicas foram incorporadas na avaliação dos sistemas aquáticos (BUSS; BAPTISTA; NESSIMIAN, 2003). Segundo Metcalfe (1989), o uso das

respostas biológicas como indicadores de degradação ambiental apresenta vantagens sobre às medidas físico-químicas da água, pois estas registram apenas o momento em que foram coletadas, necessitando assim de um grande número de análises para a realização de um monitoramento temporal eficiente. Outra desvantagem do método de avaliação tradicional é que se as medições químicas forem feitas longe da fonte poluidora, elas não serão capazes de detectar perturbações sutis sobre o ecossistema (PRATT; COLER, 1976). Por sua vez, os organismos integram as condições ambientais durante toda a sua vida, permitindo que a avaliação biológica seja utilizada com bastante eficiência na detecção tanto de ondas tóxicas intermitentes agudas quanto de lançamentos crônicos contínuos (DE PAUW; VANHOOREN, 1983).

Biomarcadores ecotoxicológicos são variações bioquímicas, celulares, fisiológicas ou comportamentais que possam ser medidas em amostras de tecidos ou fluidos orgânicos, em organismos ou populações, que possam evidenciar exposição ou efeitos de um ou mais poluentes químicos ou radiações (FOSSI; LEONZIO et al., 1993)

O biomonitoramento ambiental através da avaliação de bioindicadores acrescenta informações a respeito da resposta biológica que aquele táxon apresenta na presença de um determinado poluente (WHO, 1996). A identificação dos biomarcadores mais apropriados para um melhor diagnóstico do ecossistema em que se pretende investigar, deve-se levar em consideração o poluente a ser estudado e o melhor modelo biológico para a avaliação de impacto ambiental (JESUS; CARVALHO, 2008).

A histologia é uma ferramenta sensível para se diagnosticar efeitos tóxicos diretos e indiretos que afetem tecidos animais. Por isso é considerada um excelente método de avaliação de impacto ambiental causado por agentes tóxicos sobre os animais constituintes de uma determinada fauna e, portanto, é amplamente utilizada (PÉREZ et al., 2018). No entanto, não é um método específico de determinada contaminação, pois demonstra resposta biológica ao estressor, mas não especifica a origem. Porém, quando associados a outros métodos de análises, estes estudos podem auxiliar na compreensão de determinadas situações.

A escolha dos órgãos a serem estudadas é fundamental para a relevância dos dados obtidos. Na maioria dos peixes, sobretudo teleósteos, o epitélio da brânquia é a principal superfície de contato com o ambiente. Na presença de estressores químicos, físicos ou biológicos as brânquias podem exibir modificações que são consideradas respostas de defesa. Um exemplo é a fusão lamelar, que diminui a área de superfície da brânquia e aumenta a barreira de difusão ao agente poluente. Porém, isso gera maior dificuldade respiratória levando a induzir à vasodilatação, o que pode ocasionar o aparecimento de edemas e descolamento do

epitélio branquial (ERKMEN; KOLANKAYA, 2000). Dentre as reações que ocorrem nos tecidos das brânquias estão distúrbios circulatórios, como congestão, aneurisma e edema, a proliferação de células como a hiperplasia epitelial e células mucosas, e ainda processos inflamatórios que podem levar a necrose dos tecidos (GARCIA-SANTOS et al., 2007; FONTAÍNHAS-FERNANDES et al., 2008; ROQUES et al., 2015).

O fígado é considerado o principal órgão responsável pelo metabolismo das substâncias químicas, por meio de diferentes reações e processos enzimáticos, sendo o mais importante sítio anatômico de armazenamento, biotransformação e excreção de pesticidas (CENGIZ; UNLU, 2006). A exposição aos metais pesados pode consequentemente causar mudanças nos tecidos e uma investigação histológica de espécimes expostos podem produzir resultados significativos. Estudos com histologia de fígados de peixes podem servir como modelos para estudar as interações entre fatores ambientais e estruturas hepáticas e suas funções (BRUSLÉ; ANADON, 1996). As alterações histológicas comumente encontradas neste órgão são a vacuolização dos hepatócitos, degeneração gordurosa do fígado, alterações na atividade metabólica, alterações no parênquima hepático e necrose (RASKOVIC et al., 2011).

Além dos estudos histológicos, estudos sobre a estrutura populacional envolvendo comunidades de diferentes ambientes são de grande importância, uma vez que trazem informações sobre os mecanismos adotados pelas espécies, diante das pressões ambientais as quais são submetidas (BENEDITO-CECILIO; AGOSTINHO, 1997). A relação entre o peso e o comprimento corporal dos peixes, por exemplo, são importantes na biologia dos peixes, porque permitem estimar o peso médio dos peixes de um determinado grupo de comprimento, estabelecendo uma relação matemática entre eles (MIR et al., 2012).

A relação comprimento-peso permite calcular um parâmetro que determina o grau de bem-estar do peixe, denominado de fator de condição (K). Segundo Vazzoler (1996), este fator é um indicador quantitativo do grau de hígidez ou de bem-estar do peixe, refletindo condições alimentares recentes e/ou gastos de reservas em atividades cíclicas, possibilitando relações com condições ambientais e aspectos comportamentais das espécies. Os valores de K dependem da relação entre o peso de um peixe e seu comprimento, com a intenção de descrever a condição desse peixe individual (FROESE, 2006).

O fator de condição é amplamente utilizado, pois fornece importantes informações sobre o estado fisiológico do animal, a partir do pressuposto de que indivíduos com maior massa em um dado comprimento estão em melhor condição (VAZZOLER, 1996). Diferentes valores indicam o estado de sua maturidade sexual, o grau de disponibilidade de fontes de alimento e a idade e sexo de algumas espécies (ANIBEZE, 2000). Podendo estar relacionado com os aspectos

reprodutivos dos peixes, o cálculo de K permite comparações entre populações de peixes submetidas a diferentes condições de clima, alimentação, densidade e qualidade da água, (AGOSTINHO et al., 1990).

3.4 *Sciades herzbergii* (BLOCH, 1974)

Pertence à família Ariidae, *Sciades herzbergii* ocorre nas zonas litorâneas tropicais e subtropicais, em ambientes marinhos, estuarinos e de água doce, sendo geralmente abundante em águas costeiras com fundo lodoso e pouco profundo (ARAÚJO et al., 2004). Os adultos ocorrem em estuários com águas turbidas, mangues e baixos cursos de rios e são capazes de tolerar mudanças grandes de salinidade. São encontrados em regiões costeiras rasas (CERVIGÓN et al., 1992), alimentam-se de uma grande variedade de animais pelágicos, crustáceos, vermes e animais encontrados entre as raízes dos manguezais.

S. herzbergii é considerada uma espécie estuarino-residente, pois possui todo o seu ciclo de vida nos estuários maranhenses (CARVALHO-NETA, 2010). Estudos pretéritos indicaram que essa espécie é o grupo dominante na Ilha dos Caranguejos e a mais capturada pela pesca regional (CARVALHO-NETA, 2004), possuindo relativa importância comercial na pesca artesanal do estado.

A reprodução da espécie ocorre entre setembro e dezembro e uma fêmea coloca 20-30 ovos, com um diâmetro de 10-12mm (FROESE; PAULLY, 2020). Figueiredo e Menezes (1980) constataram que bagres machos e mais raramente as fêmeas incubam os ovos na cavidade bucal logo após a desova até que todo o desenvolvimento embrionário seja completado. Os ovos ficam encubados na boca de 10 a 12 dias (FROESE; PAULLY, 2020). Cerca de 5 a 60 dias após a incubação jovens totalmente funcionais são libertados. Fêmeas atingem a maturidade em idade mais jovem e crescem mais rapidamente (MARCENIUK, 2005).

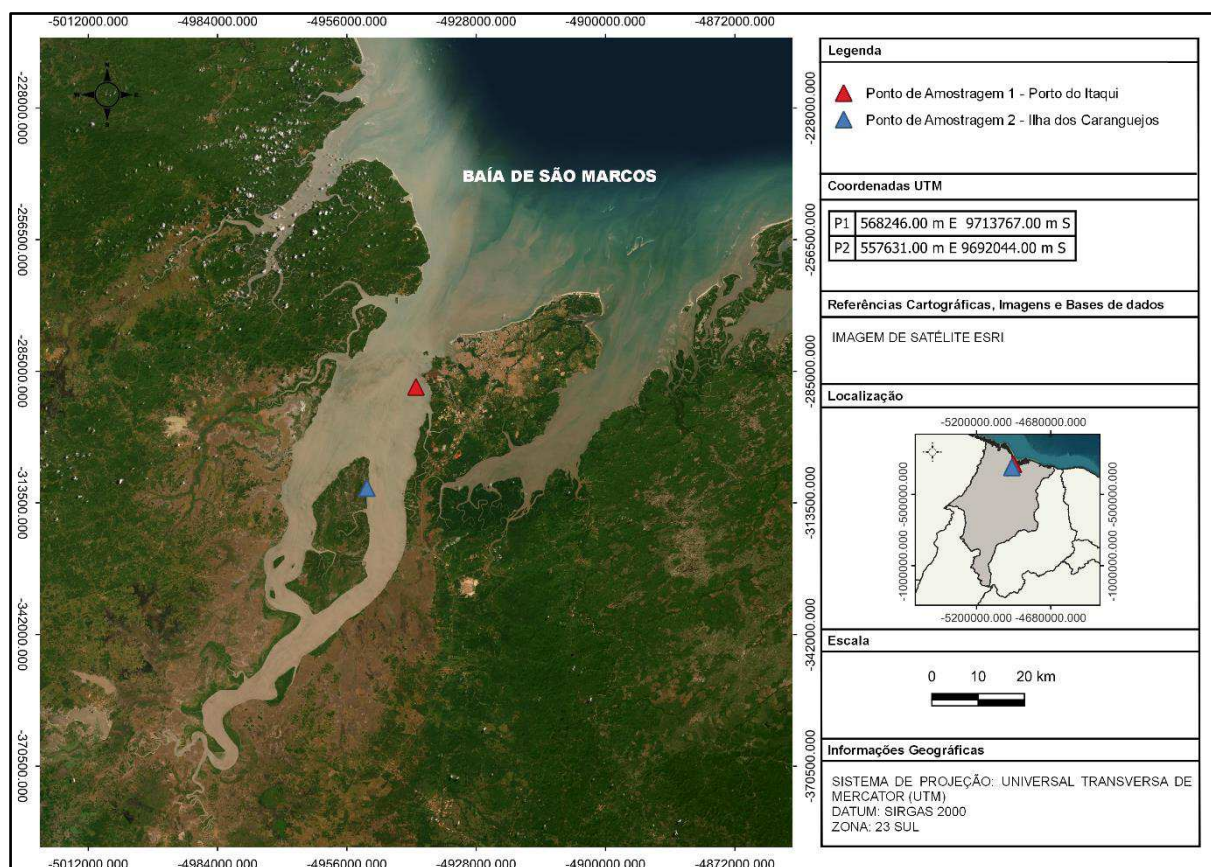
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os peixes foram coletados em duas áreas na Baía de São Marcos (Figura 1). A primeira área (A1) fica localizado próximo ao Porto do Itaqui (568246.00 m E 9713767.00 m S), região de intensa atividade portuária, e que recebe ainda efluentes de esgoto agrícola, industrial e doméstico (Carvalho-Neta *et al.*, 2012).

A segunda área (A2) fica na Ilha dos Caranguejos (557631.00 m E 9692044.00 m S), município de Cajapió, que é inabitada e apresenta uma área de 345,08 km² num perímetro de 165,08 km², sendo a maior faixa continua de manguezal do Maranhão (Carvalho-Neta; Castro, 2008). Integra uma Área de Proteção Ambiental, criada pelo Governo do Estado do Maranhão, através do Decreto no 11.900 de 11 de junho de 1991 e reeditado em 05 de outubro de 1991 (SEMA, 2018). Diante dessas características ambientais a Ilha dos Caranguejos foi utilizada como área de referência.

Figura 1 - Localização de captura do *S. herzbergii* na baía de São Marcos no Porto do Itaqui (A1) e Ilha dos Caranguejos (A2).



Fonte: Luana do Nascimento Dias – Laboratório de Ictiologia e Recursos Pesqueiros, Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão.

4.2 LICENÇA E COMITÊ DE ÉTICA

O protocolo para captura dos peixes foi aprovado pelo Comitê de ética da Universidade Estadual do Maranhão (número 12/2017 CRMV-MA).

4.3 COLETA DOS ESPÉCIMES E BIOMETRIA

No estado do Maranhão há duas estações bem definida, sendo uma chuvosa, que compreende os meses de dezembro a junho, e uma de estiagem, que compreende os meses de julho e novembro (ATLAS DO ESTADO DO MARANHÃO, 1984).

Para verificar se havia influência climática sobre os indivíduos, foram realizadas duas coletas, uma em março (período chuvoso) e outra em setembro (período de estiagem) no ano de 2018. Os peixes foram coletados em seus habitats naturais usando redes de emalhar e depois eutanasiados por dissecação transespinal, pois os espécimes seriam submetidos a análises bioquímicas. O material foi acondicionado em caixa isotérmica e transportado ao Laboratório de Biomarcadores em Organismos Aquáticos (LABOAq) da UEMA.

4.4 HISTOLOGIA DOS TECIDOS

Para comparar lesões branquiais e hepáticas dos peixes dos dois locais, o procedimento histológico habitual para fígado e brânquias foi realizado em laboratório. Os peixes foram dissecados e suas brânquias e fígado foram fixados imediatamente em formalina a 10%. As brânquias e fígados de cada indivíduo foram desidratados em uma série progressiva de diluições de etanol e embebidos em parafina. As seções foram coradas com hematoxilina e contra coradas com eosina alcoólica para análise estrutural de brânquias e fígado. Quatro seções de tecido de cada peixe foram examinadas por fotomicroscópio Zeiss.

As lesões histopatológicas tanto de brânquias quanto de fígados foram classificadas de acordo com a metodologia proposta por Bernet (1999). Esta metodologia classifica os padrões de reação em: 1) distúrbios circulatórios; 2) mudanças regressivas; 3) mudanças progressivas; 4) inflamação e 5) tumor. Para cada alteração há um fator de importância (w), que varia de 1 a 3, onde 1 se refere a importância patológica mínima (lesão facilmente reversível); 2, onde a importância patológica é moderada (lesão é reversível na maioria dos casos) e 3, onde a importância patológica é acentuada (lesão é geralmente irreversível). Além do fator de importância é atribuído ainda um valor de pontuação (a) que variou de 0 a 6 e foi atribuído pelo observador de acordo com o grau de extensão do dano. Neste estudo o valor de pontuação foi atribuído de acordo com o número total de lesões apresentadas por cada espécime (Tabela 1).

Tabela 1. Padrão utilizado para obtenção do valor de pontuação (a) de cada espécie atribuído de acordo com o número total de lesões observadas

Total de Lesões	Valor de Pontuação	Descrição
0	0	Sem Mudanças
1 → 5	2	Leve
6 → 10	4	Moderada
10 >	6	Grave

Fonte: Bernet (1999)

Com esses dados foi possível calcular o índice de órgãos (Iorg) que representa o grau de dano total a um órgão no grupo de indivíduos analisados. O Iorg é obtido a partir da fórmula:

$$Iorg = \sum_{rp} \sum_{alt} (a_{org\ rp\ alt} \times w_{org\ rp\ alt})$$

Onde org = órgão (constante); rp = padrão de reação; alt = alteração; a = um valor de pontuação; w = valor de importância.

4.5 RELAÇÃO PESO-COMPIMENTO E FATOR DE CONDIÇÃO (K)

A fim de identificar possíveis variações morfométricas entre sexos e locais, os seguintes dados dos espécimes foram coletados ainda em campo: comprimento total (Lt), peso total (Wt) e peso das gônadas (Wg). Os dados de comprimento foram descritos em centímetros (MMC) e os de peso em gramas (g). O sexo dos espécimes foi identificado macroscopicamente seguindo a escala proposta por Vazzoler (1996). Com os dados de comprimento e peso foi possível realizar a relação peso-comprimento e definir o fator de condição (K).

A relação entre o peso total e o comprimento total foi determinada pelo método estabelecido por Lé Cren (1951). Os valores das variáveis foram plotados em um gráfico de dispersão que demonstrou tendência a se ajustar a curva potencial representada pela equação:

$$W_t = aL_t^b$$

Onde Lt = comprimento total dos indivíduos no tempo t; Wt = peso total dos indivíduos no tempo t; a = fator condição e b = constante relacionada ao tipo de crescimento dos indivíduos.

O fator de condição foi determinado a partir de Vazzoler (1996) e tem como objetivo analisar quantitativamente a atividade reprodutiva da espécie, com base na seguinte fórmula:

$$K = \frac{W}{L^b}$$

Onde b se refere ao coeficiente angular da relação peso-comprimento para todos os indivíduos amostrados; W = peso total e L = comprimento total.

4.6 ÍNDICE GONADOSSOMÁTICO (IGS)

Com Wt e Wg foi possível a realização do índice gonadosomático (IGS), proposto por Vazzoler (1996), por meio da seguinte fórmula:

$$IGS = \frac{Wg}{Wt} \times 100$$

Onde IGS = índice gonadosomático, Wg = peso das gônadas e Wt = peso total.

Durante o ciclo reprodutivo anual dos peixes pode se observar alterações em suas gônadas, principalmente o peso, devido em grande parte ao acúmulo de material de reserva nos ovócitos em maturação, sendo estas reservas provenientes da alimentação ou de reservas energéticas depositadas em diferentes partes do organismo. O IGS tem sido utilizado como indicativo do estado funcional dos ovários, uma vez que expressa a porcentagem que as gônadas representam do peso total dos indivíduos (Vazzoler, 1996). Desta forma, o mesmo pode ser utilizado como indicador de períodos reprodutivos.

4.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Proporção sexual foi avaliada a partir do teste do qui-quadrado (χ^2), a fim de identificar diferenças significativas na população. Lt, Wt, K e IGS foram verificados por teste t de Student, a 5% de probabilidade.

5 RESULTADOS

5.1 BIOMARCADORES BRANQUIAIS

Um total de 76 indivíduos foram capturados, 38 em cada período (20 fêmeas e 18 machos). Foram identificadas 332 lesões branquiais, 314 (94,58%) em peixes da região portuária e 18 (5,42%) em peixes da Ilha dos Caranguejos, divididas em quatro tipos (Quadro 1). Os resultados foram comparados entre sexos, locais e períodos para compreender a incidência das lesões.

Quadro 1. Valores totais de lesões branquiais em fêmeas e machos de *Sciades herzbergii* capturados no Porto do Itaquí (A1) e Ilha dos Caranguejos (A2) durante os períodos chuvosos e de estiagem.

Tipos de Lesão	Período Chuvoso				Período de Estiagem			
	Fêmeas		Machos		Fêmeas		Machos	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
Aneurisma	90	3	27	3	10	0	10	6
Deslocamento do Epitélio	29	2	17	2	7	0	5	2
Fusão de Lamelas Primárias	8	0	42	0	15	0	30	0
Necrose	0	0	5	0	0	0	19	0

Fonte: Próprio Autor

Machos apresentaram 168 lesões (50,6%) e fêmeas 164 lesões (49,4%). Fêmeas foram mais afetadas durante o período chuvoso (57,89%) e machos na estiagem (69,23%). Nas fêmeas, aneurisma foi a lesão mais comum (62,8%), enquanto que nos machos foi fusão de lamelas primárias (42,86%).

No período chuvoso, um total de 228 lesões foram identificadas, sendo 127 (57,89%) em fêmeas e 91 (42,11%) em machos. Na região portuária (A1) foi observado incidência de lesões em todos os indivíduos, sendo a lesão do tipo aneurisma a mais frequente em fêmeas (70,87%) e do tipo fusão de lamelas primárias em machos (46,15%). O total de lesões em A1 foi 2.080% maior que na Ilha dos Caranguejos (A2). Não foi observada necrose em fêmeas, apenas em machos (5,49%). Nos indivíduos de A2 foram observadas apenas 10 lesões.

Durante a estiagem, o total de lesões foi de 104, sendo 32 (30,77%) em fêmeas e 64 em machos (69,23%). Em A1 ocorreu incidência em 40% das fêmeas e em 100% dos machos. Total de lesões em A1 foi 1.100% maior que A2. Houve predominância da lesão do tipo fusão das lâminas primárias em fêmeas (46,88%) e machos (41,67%) e novamente necrose apenas nos machos. Em A2 foram observadas lesões apenas nos machos (8).

5.2 BIOMARCADORES HEPÁTICOS

Não foram observadas lesões em fígados na Ilha dos Caranguejos, enquanto que na região portuária ocorreu lesões hepáticas em ambos os períodos. Um total de 52 ocorrências de lesões foram encontradas em A1, do tipo centro de melanomacrófagos e necrose (Quadro 2).

Quadro 2. Valores totais de lesões hepáticas em machos e fêmeas na região portuária (A1) durante os períodos chuvoso e de estiagem.

Parâmetros	Período Chuvoso		Período de Estiagem	
	Fêmeas	Machos	Fêmeas	Machos
Centro de Melanomacrófagos	21	3	2	2
Necrose	4	13	2	5

Fonte: Próprio Autor

Durante o período chuvoso foi observado um total de 41 lesões, sendo 25 em fêmeas (61%) e 16 nos machos (39%). Nas fêmeas a maioria das lesões foram de centro de melanomacrófagos (84%) e nos machos a predominância foi do tipo necrose (81,3%).

Durante o período de estiagem um total de 11 lesões foram observados, sendo 4 em fêmeas (36%) e 7 em machos (64%). Nas fêmeas a quantidade de lesões por tipo foi igual e nos machos o tipo necrose predominou (71,4%).

5.3 ÍNDICES DE LESÕES HISTOLÓGICAS

A fim de uma melhor observação dos dados de lesões, foi calculado o índice de órgãos (Iorg) proposto por Bernet *et al.* (1999). Brânquias e fígado apresentaram maiores valores de Iorg no período chuvoso (Quadro 3). Em A1, valores elevados foram encontrados em ambos os períodos, sobretudo no período chuvoso. A2 apresentou peixes com baixos valores de lesões para brânquias baixos e nenhuma alteração para fígado.

Quadro 3. Índice de órgãos (Iorg) para brânquias e fígados na região portuária (A1) e na Ilha dos Caranguejos (A2) durante os períodos chuvoso e de estiagem.

Órgãos	Período Chuvoso		Período de Estiagem	
	A1	A2	A1	A2
Brânquias	96	8	62	6
Fígado	82	0	24	0

Fonte: Próprio Autor

5.4 BIOMETRIA DA ESPÉCIE

Quanto à estrutura populacional de *S. herzbergii*, o teste qui-quadrado não apresentou diferenças significativas na proporção sexual, demonstrando que a população está distribuída na proporção esperada. Quanto a variação em tamanho e peso de acordo com a sazonalidade e o sexo, o teste t demonstrou diferenças significativas (Quadro 4).

Quadro 4. Valores médios e desvio padrão para comprimento total (L_t), peso total (W_t) e peso das gônadas (W_g) em fêmeas e machos de *Sciades herzbergii* capturados no Porto do Itaqui (A1) e Ilha dos Caranguejos (A2) durante os períodos chuvoso e de estiagem. Com asterisco, destacado onde teste t indicou diferenças entre locais.

Parâmetros	Período Chuvoso				Período de Estiagem			
	Fêmeas		Machos		Fêmeas		Machos	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
L_t (cm)	16,93±4,84*	23,36±3,27*	19,12±6,31	18,53±1,48	24,08±6,14*	17,99±1,72*	26,46±6,77*	17,5±2,1*
W_t (g)	109,27±38,26*	243,98±40,99*	102,5±13,91*	184,38±17,13*	195,67±92,17	180,25±16,69	204,06±112,35	176,19±21,09
W_g (g)	0,672±0,628*	2,8±0,842*	0,223±0,486*	1,29±0,455*	1,293±1,231*	1,86±0,171*	0,128±0,14*	1,356±0,49*

Fonte: Próprio Autor

O período de estiagem apresentou peixes com maiores médias de comprimento (21,5 cm) e peso (188,98 g). Fêmeas apresentaram valores médios mais elevados de L_t e W_t (20,6 cm e 182,29 g). Indivíduos da região portuária demonstraram maiores médias de comprimento (21,7 cm) e da Ilha dos Caranguejos maiores médias de peso (197,04 g).

5.5 RELAÇÃO PESO-COMPIMENTO, FATOR DE CONDIÇÃO (K) E ÍNDICE GONADOSSOMÁTICO (IGS)

Os índices de correlação (R²), valores de fator de condição (K) e índice gonadossomático (IGS) estão descritos no Quadro 5.

Quadro 5. Valores médios e desvio padrão para índice de correlação (R²), fator de condição (K) e índice gonadossomático (IGS) em fêmeas e machos de *Sciades herzbergii* capturados no Porto do Itaqui (A1) e Ilha dos Caranguejos (A2) e durante os períodos chuvoso e de estiagem.

Parâmetros	Período Chuvoso				Período de Estiagem			
	Fêmeas		Machos		Fêmeas		Machos	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
R²	0,3218	0,5051	0,276	0,8947	0,0044	0,9807	0,9268	0,9999
K	14,2	24,8	12,7	22,2	21,3	22,1	18	22,1
IGS	0,58±0,52	1,15±0,27	0,20±0,43	0,71±0,26	0,56±0,08	1,03±0,02	0,08±0,09	0,77±0,28

Fonte: Próprio Autor

O índice de correlação (R²) bons índices para machos, principalmente na estiagem. Fêmeas demonstraram bons índices de R² em apenas uma ocasião (A2 durante estiagem).

O fator de condição (K) apresentou os valores mais elevados em peixes de A1 em ambos os sexos e períodos.

O IGS demonstrou diferenças significativas entre os locais em ambos os períodos. Valores de IGS em fêmeas foram mais elevados em todos os locais e períodos. Durante o período chuvoso, as fêmeas de A2 apresentaram valores de IGS 98% maior que em A1 e no

período de estiagem a diferença foi de 83%. Nos machos, durante o período chuvoso os valores de A2 foram 255% maiores que os de A1 e durante estiagem o valor foi de 862%.

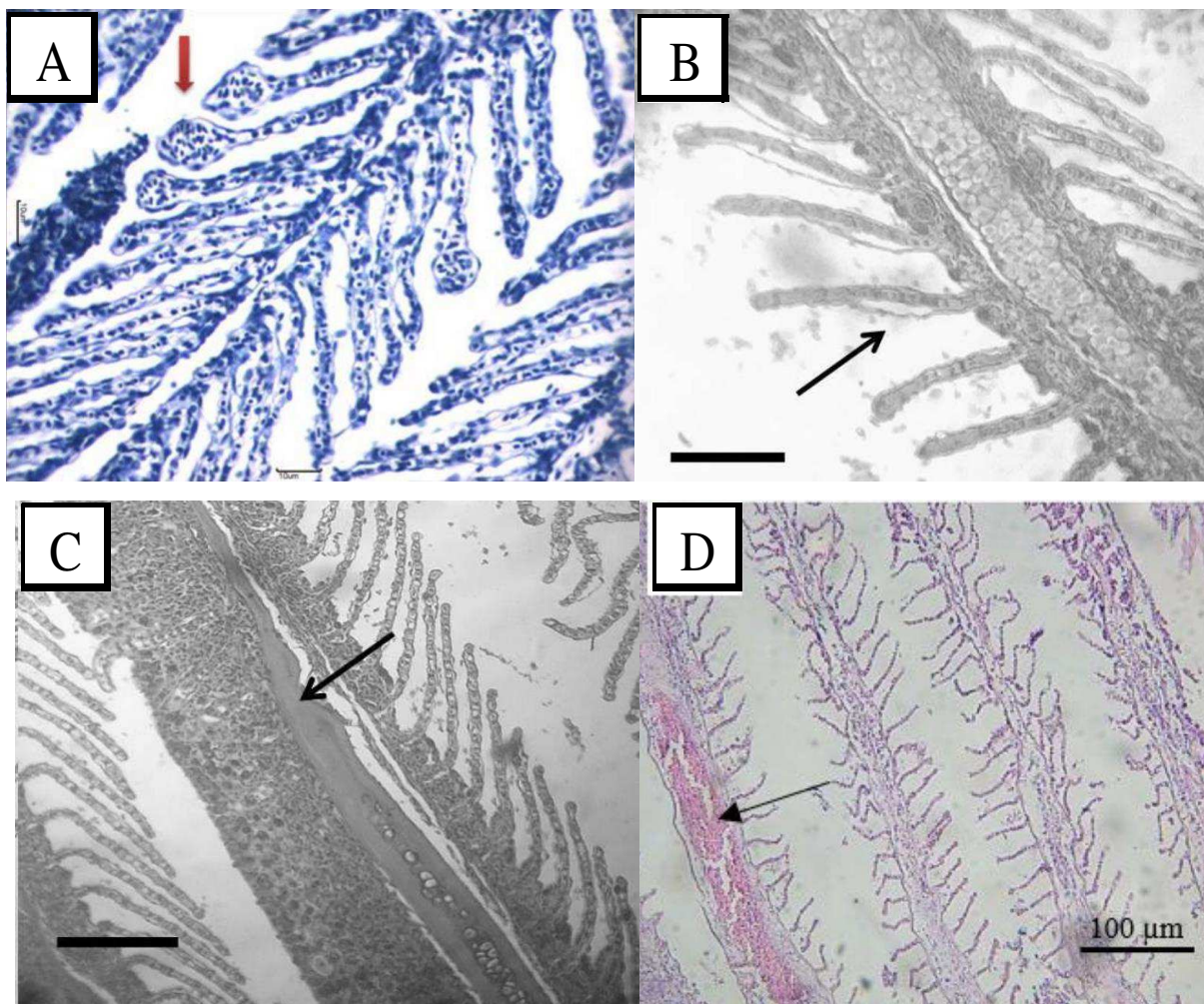
6 DISCUSSÃO

Os peixes da região portuária região portuária (A1) apresentou em ambos os períodos elevado número de respostas para biomarcadores histológicos em brânquias e fígados, demonstrando que a região apresenta impactos que podem causar estresse nos organismos. Pinheiro-Sousa *et al.* (2022), Jesus *et al.* (2020) e Oliveira *et al.* (2019) verificaram presença de elementos-traço em sedimentos na região em níveis acima dos limites estabelecidos em lei (CONAMA, 2004) para Al, As, Cd, Fe, Mn, Pb, Ni e Hg. Soares *et al.* (2020) afirma que quando expostos a contaminantes, organismos podem ter seus sistemas vitais biológicos, bioquímicos, fisiológicos e comportamentais comprometidos, pois direciona energia para desintoxicação, tendo como resultado lesões branquiais e hepáticas.

No período chuvoso foi registrado o maior percentual (68,67%) do total de lesões em todos os peixes analisados. Pinheiro-Sousa *et al.* (2021), em trabalho no mesmo local e espécie para identificar biomarcadores histopatológicos e bioquímicos e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPA), também obtiveram respostas maiores no período chuvoso. Neste período ocorre lixiviação do solo que contribui para remobilização e biodisponibilidade de xenobióticos para o ambiente aquático (Duman; Kar, 2012). Em contrapartida, Castro *et al.* (2018) em trabalho realizado com a mesma espécie e região, encontrou mais lesões no período de estiagem (67%), justificando que isso ocorre devido a maior concentração de contaminantes motivado pela evaporação maior do período.

As lesões branquiais identificadas foram do tipo aneurisma, deslocamento do epitélio, fusão de lamelas primárias e necrose (Figura 2). O aneurisma prejudica a integridade vascular com a liberação de grande quantidade de sangue, empurrando o epitélio lamelar para fora, podendo resultar em ruptura e consequentemente hemorragia (Hinton; Laurén, 1990). O deslocamento epitelial é um sinal inicial de patologias em peixes, pois pode gerar distúrbios na osmorregulação (Nogueira *et al.*, 2008). Fusão lamelar é considerado mecanismo natural de defesa, que protege o contato direto dos contaminantes com o epitélio da lamela, porém prejudicando passagem da água, dificultando a função respiratória do órgão (Silva *et al.*, 2004).

Figura 2: Fotomicrografia das brânquias de *Sciades herzbergii*. (A) aneurisma; (B) deslocamento do epitélio; (C) fusão de lamelas primárias; (D) necrose.



Fonte: (A) Ito (2013); (B) e (C) Castro (2018); (D) Viana (2021)

Para dados agrupados, aneurisma foi a lesão mais frequente (44,88%), seguida de fusão de lamelas primárias (28,61%), deslocamento do epitélio (19,28%) e necrose (7,23%). Torres *et al.* (2023) não identificou aneurisma, mas encontrou deslocamento epitelial (47%), fusão lamelar (15%) e necrose (5%), além de hiperplasia (12%) e estreitamento lamelar (6%). Castro *et al.* (2018) identificou aneurisma, fusão de lamelas primárias e necrose, além de hiperplasia, dilatação capilar, necrose e proliferação de células epiteliais em espécimes da região portuária.

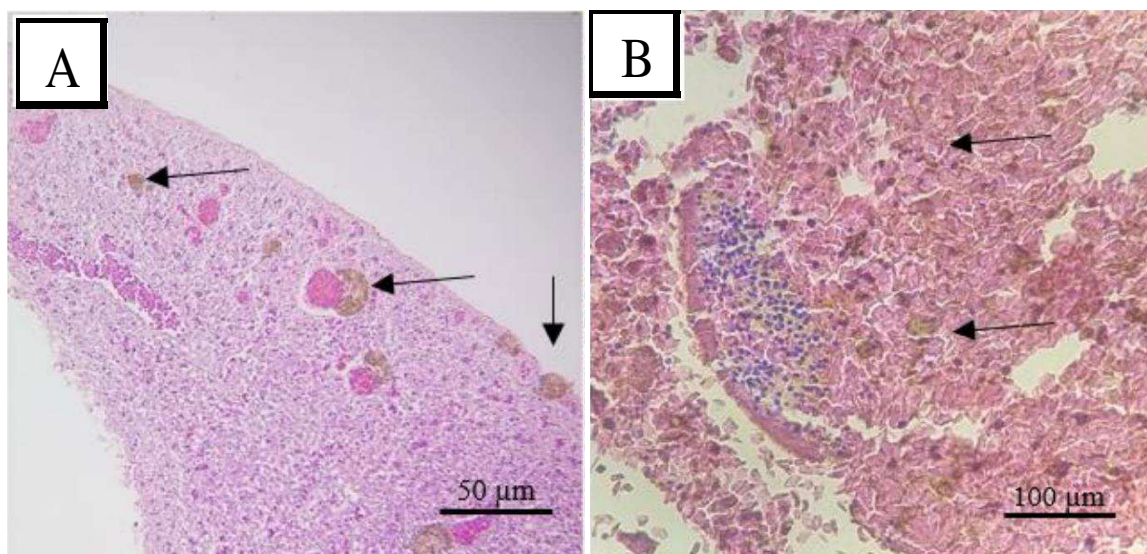
Em nenhuma coleta foi identificada necrose em fêmeas, ocorrendo apenas nos machos da região portuária. Foi identificado que fêmeas apresentaram mais problemas respiratórios e machos problemas em níveis estruturais e até mesmo morte tecidual. Isso demonstra que os machos estão sendo os mais afetados. Os machos de *S. herzbergii* possuem papel importante no processo reprodutivo ao encubar os ovos na boca logo após a desova até o fim do desenvolvimento embrionário (Figueiredo; Menezes, 1980). Portanto, sanidade prejudicada nos machos desta espécie, torna a população mais suscetível a depleção dos estoques. Carvalho-Neta *et al.* (2017) em trabalho realizado nos mesmos locais e espécie, na região portuária bagres

machos incubando ovos na boca, somente na Ilha dos Caranguejos, o que indica que a região possivelmente apresenta recrutamento prejudicado.

Quanto as lesões no fígado, nenhuma lesão foi identificada nos peixes coletados na Ilha dos Caranguejos. Na região portuária, o período chuvoso mostrou a maioria dos indivíduos com lesões (78,85%), comportamento similar às brânquias. Um padrão similar foi encontrado por Viana *et al.* (2021) em trabalho realizado na baía de São José. Quanto ao sexo, as lesões hepáticas tiveram o mesmo padrão das branquiais, com fêmeas predominando no período chuvoso e machos na estiagem.

As lesões hepáticas encontradas foram do tipo centro de melanomacrófagos (MMC) e necrose (Figura 3). MMC consistem em agregação de macrófagos, como células e fragmentos de células fagocitadas, principalmente eritrócitos e pigmentos, localizados no tecido reticuloendotelial do fígado, rim e pâncreas (Agius; Roberts, 2003). MMCs no fígado de peixes tem como função destruir, desintoxicar ou reciclar materiais estranhos, sendo indicadores de condições ambientais (Van der Oost *et al.*, 2003).

Figura 3: Fotomicrografia do fígado de *S. herzbergii*. (A) centro de melanomacrófagos; (B) necrose.



Fonte: Viana (2021)

Fêmeas apresentaram mais lesões do tipo MMC (79,31%) e machos do tipo necrose (78,26%). Torres (2023) para mesma espécie e região encontrou esses tipos de lesões, além de fibrose e vacuolização de hepatócitos. O fígado possui funções importantes relacionadas ao metabolismo basal e participa da desintoxicação, bioativação, acúmulo e excreção de xenobióticos (Figueiredo-Fernandes *et al.*, 2006).

O cálculo do índice de órgãos (Iorg) proposto por Bernet *et al.* (1999) foi usado por atribuir pesos diferentes para cada lesão e para o grau de extensão. Valores de Iorg

comprovaram que os indivíduos do período chuvoso foram os mais afetados em ambos os órgãos, sendo encontrados valores de 54% maior no caso das brânquias e de 241% nos fígados quando comparados com os mesmos órgãos de indivíduos coletados no período de estiagem.

Quanto as médias de comprimento e peso dos peixes analisados, os maiores valores foram encontrados durante o período de estiagem. Fêmeas apresentaram valores maiores que machos. Indivíduos de A1 tiveram maiores médias de comprimento e A2 maiores médias de peso. Torres *et al.* (2023) encontrou exatamente os mesmos resultados, com indivíduos mais pesados na área de referência e quanto ao comprimento, no período chuvoso maiores no local de referência e na estiagem maiores na região portuária, demonstrando um possível padrão sazonal para a espécie. Yamamoto *et al.* (2023) afirma que nessas condições de exposição a xenobióticos, as reservas metabólicas dos peixes são realocadas para mecanismos de desintoxicação, esgotando as reservas originalmente destinadas ao crescimento.

Os valores médios de K foram maiores durante a estiagem e fêmeas apresentaram maiores valores que machos. O fator de condição (K) sempre apresentou valores maiores para os peixes de A2, pois os igarapés da região constituem os principais locais utilizados por *S. herzbergii* para alimentação, crescimento e reprodução (Carvalho-Neta; Abreu-Silva, 2010). Pinheiro-Sousa *et al.* (2021) encontraram resultados semelhantes. Em regiões contaminadas como A1, K costuma ser menor pois há maior consumo de energia. Segundo Woo, Sin e Wong (1993), organismos que habitam regiões contaminadas são expostos a concentrações elevadas de poluentes, exercendo influência fisiológica e comprometendo etapas do processo reprodutivo, induzindo-os a reservar energias para o processo de detoxificação.

Em A1, os valores de IGS foram baixos e os de A2 elevados, indo de acordo com o encontrado por Carvalho-Neta *et al.* (2017) para a mesma espécie e região. Isto indica maior atividade reprodutiva em A1, pois valores de GSI maiores indicam amadurecimento adequado das gônadas (Vazzoler, 1996). Machos apresentaram os menores valores de IGS. O período chuvoso apresentou valores maiores de IGS, porém não foi considerado significativo. Resultado semelhante foi encontrado por Macedo *et al.* (2024) no mesmo local e espécie. Os xenobióticos afetam o sistema endócrino e reprodutivo dos peixes, resultando em prejuízo para o desenvolvimento dos gametas e sua viabilidade (Kime, 1999).

S. herzbergii capturados na região portuária não estão com desenvolvimento gonadal adequado. Os indivíduos apresentaram peso de gônadas menores em todos os comparativos, mesmo quando as médias de peso e comprimento foram maiores. Valores reduzidos de gônadas em peixes de porte elevado é indicio de que a espécie não reproduz adequadamente, o que pode levar a reposição lenta dos estoques (Velasco, Reis e Vieira, 2007).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir de análises histológicas de brânquias e fígados e análises morfométricas, foi possível identificar alteração em *Sciades herzbergii* na região portuária inserida na baía de São Marcos, Maranhão. Independente do período e sexo, os peixes apresentaram sanidade comprometida, possivelmente devido a exposição aos contaminantes presentes na região.

Durante o período chuvoso ocorreram os piores índices histológicos e morfométricos, o que pode ser explicado devido aos xenobióticos disponíveis na coluna d'água pós lixiviamento de sedimento, que implica em gasto energético maior para desintoxicar possíveis contaminantes. Machos e fêmeas reagiram de forma diferente sazonalmente, algo que precisa ser melhor investigado para compreensão da relação contaminantes e sexo. Necrose em fígados e brânquias de machos demonstra que esta população está sendo mais afetada.

Os valores médios de peso, comprimento, gônadas, IGS e K, indicaram que os peixes da região portuária apresentam desenvolvimento gonadal deficiente. K demonstrou baixa condição no local, indicando que os espécimes estão gastando energia para lidar com os xenobióticos presentes na região e não no processo reprodutivo.

Machos apresentaram ótima correlação em suas populações, mostrando-se mais adequados para análises de biomarcadores. Baixa incidência de lesões branquiais e ausência de lesões hepáticas nos peixes da região utilizada como controle, comprova a Ilha dos Caranguejos como boa área referência. Medidas morfométricas mostraram-se eficientes na compreensão das análises histológicas.

Os dados aqui presentes se mostram importantes para o conhecimento das respostas biológicas de *Sciades herzbergii* na região portuária. Os resultados encontrados e as metodologias utilizadas podem ser úteis em futuros programas de biomonitoramento.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). **Questionário do Índice de Desempenho Ambiental – IDA:** dados gerais sobre a instalação portuária. Brasília, DF: ANTAQ, 2018b. 37 p.

AGIUS, C.; ROBERTS, R. J. Melano-macrophage centres and their role in fish pathology. **Journal of fish diseases**, v. 26, n. 9, p. 499-509, 2003.

AGOSTINHO, A. A; BARBIERI, G.; VERANI, J. R.; HAHN, N. S. **Variação do fator de condição e do índice hepatossomático e suas relações com o ciclo reprodutivo em *Rhinelepis áspera* (Agassiz, 1829) (Osteichthyes, Loricariidae) no Rio Paranapanema, Porecatu.** Ciência e Cultura, v. 42, p. 711-714, 1990.

ALMEIDA, Zafira da Silva de. **Os recursos pesqueiros marinhos e estuarinos do Maranhão: biologia, tecnologia, socioeconômica, estado de arte e manejo.** 2008.Tese (Doutorado) – Museu Paraense Emílio Goeldi. Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

ANDRADE, Ticianne De Sousa de Oliveira Mota. **Biomarcadores em caranguejo uçá (*Ucides cordatus*) para monitoramento ambiental em áreas portuárias.** 2016. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Recursos Aquáticos e Pesca. Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2016.

ANIBEZE, C. I. P. **Length-weight relationship and relative condition of *Heterobranchus longifilis* (Valenciennes) from Idodo River, Nigeria.** Naga ICLARM Quart., v. 23, n. 2, 34-35, 2000.

ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Portos brasileiros (2024).** <http://portal.antaq.gov.br/> Acesso em 06 março de 2024.

ARAÚJO, Maria Elisabeth de; TEIXEIRA, Jacinta Maria Castro; OLIVEIRA, Aínda Maria Eskinazi de. **Peixes estuarinos marinhos do Nordeste brasileiro: guia ilustrado**. Fortaleza: Edições UFC, 2004. 260 p.

ARELLANO, J. M.; STORCH, V.; SARASQUETE, C. **Histological changes and copper accumulation in liver and gills of the Senegales sole, *Solea senegalensis***. *Ecotoxicology and environmental safety*, v. 44, n. 1, p. 62–72, 1999.

BANI, A.; TABARSA, M.; FALAHATKAR, B.; BANAN, A. **Effects of different photoperiods on growth, stress and haematological parameters in juvenile great sturgeon *Huso huso***. *Aquaculture Research*, v.40, p.1899-1907, 2009.

BARBIER, E. B.; *et al.* **The value of estuarine and coastal ecosystem services**. *Ecological Monographs*, v. 81, n. 2, pp. 169–193. 2011.

BARLETTA, M.; *et al.* **Fish and aquatic habitat conservation in South America: a continental overview with emphasis on neotropical systems**. *Journal of Fish Biology* 76 (9): 2118-2176, 2010.

BENEDITO-CECÍLIO, E.; AGOSTINHO, A. A. Estrutura das populações de peixes do reservatório de segredo. *In*: AGOSTINHO, A.A.; GOMES, L.C. (Ed.). **Reservatório de Segredo: bases ecológicas para o manejo**. Maringá: Eduem, p. 113-139, 1997.

BERNET, D.; SCHMIDT H.; MEIER W.; BURKHARDT-HOLM P.; WAHLI T. Histopathology in fish: proposal for a protocol to assess aquatic pollution. **Journal of fish diseases**, v. 22, n. 1, p. 25-34, 1999.

BLABER, S.J.M.; BREWER, D.T.; J.P. SALINI. **Fish communities and the nursery role of the shallow inshore waters of a tropical bay in the Gulf of Carpentaria, Australia**. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 40: 177-193,1995

BRAGA, FM de S. Estudo entre fator de condição e relação peso/comprimento para alguns peixes marinhos. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 46, n. 2, p. 339-346, 1986.

BRAGA, FM de S. Análise do fator de condição de *Paralichthys brasiliensis* (Perciformes, Sciaenidae). **Revista Unimar**, v. 15, n. 2, p. 99-115, 1993.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Portos brasileiros (2023)**. <http://portal.antaq.gov.br/> Acesso em 06 março de 2024.

BRASIL. Marinha do Brasil. Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). **Normas da Autoridade Marítima para Auxílios à Navegação**. 4. ed. 2017a. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/dhn/sites/www.marinha.mil.br/dhn/files/normam/NORMAM17%20%28REV.4%29.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2020.

BUSS, D. F.; BAPTISTA, D. F.; NESSIMIAN, J. L. **Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios**. Cadernos de Saúde Pública 19(2), 2003.

CARVALHO-NETA, R. N. F. **Fauna de peixes estuarinos da ilha dos Caranguejos-MA: aspectos ecológicos e relações com a pesca artesanal**. 2004. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Sustentabilidade de Ecossistemas. Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís-MA, 2004.

CARVALHO-NETA, R. N. F.; ABREU-SILVA, A. L. Estrutura populacional e época de reprodução de *Sciades herzbergii* (Siluriformes, Ariidae) na Ilha dos Caranguejos, Maranhão. *IN: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL*, 8. 2007, Caxambu. **Anais[...]**. São Luís, Universidade Estadual do Maranhão, 2007, 1-2.

CARVALHO-NETA, R. N. F.; CASTRO, A. C. L. Diversidade das assembléias de peixes estuarinos na Ilha dos Caranguejos, Maranhão. **Arquivos de Ciências do Mar**, n. 41, p. 48-57, 2008.

CARVALHO-NETA, R. N. F.; ABREU-SILVA, A. L. **Sciades herzbergii oxidative stress biomarkers: An in situ study of estuarine ecosystem (São Marcos Bay, Maranhão, Brazil).** **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, p. 11-17, 2010.

CARVALHO-NETA, R.N.F.; TORRES, A.R. Jr; ABREU-SILVA, A.L. Biomarkers in catfish *sciades herzbergii* (teleostei: ariidae) from polluted and Non-polluted areas (São Marcos' Bay, northeastern Brazil). **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 166, p. 1314-1327, 2012.

CARVALHO-NETA, R. N. F.; SOUSA, D. B. P.; ALMEIDA, Z. S.; SANTOS, D. M. S. A histopathological and biometric comparison between catfish (Pisces, Ariidae) from a harbor and a protected area, Brazil. **Aquatic biosystems**, v. 10, n. 12, p. 1-7, 2014.

CARVALHO-NETA, R. N. F.; BARBOSA, G. L.; TORRES, H. S.; SOUZA, D. B. P.; CASTRO, J. S.; SANTOS, D. M. S.; TCHAICKA, L.; ALMEIDA, Z. S.; TEIXEIRA, E. G.; TORRES-JUNIOR, A. R. Changes in Glutathione S-Transferase Activity and Parental Care Patterns in a Catfish (Pisces, Ariidae) as a Biomarker of Anthropogenic Impact in a Brazilian Harbor. **Archives of environmental contamination and toxicology**, v. 72, p. 132-141, 2017.

CARVALHO-NETA, R. N. F. *et al.* **Biochemical and morphological responses in *Ucides cordatus* (Crustacea, Decapoda) as indicators of contamination status in mangroves and port areas from northern Brazil.** **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 15884-15893, 2019.

CASILLAS, E.; *et al.* **Inducibility of spawning and reproductive success of female English sole (*Parophrys vetulus*) from urban and nonurban areas of Puget Sound, Washington.** **Mar. Environ. Res.** 21, 99–122., 1991.

CASTRO, A. C. L. Diversidade da assembleia de peixes em igarapés do estuário do rio Paciência (MA – Brasil). **Atlântica**, v. 23, p. 39-46, 2001.

CASTRO, A. C. L.; CASTRO, K. D. D.; PORTO, H. L. R. **Distribuição da assembleia de peixes na área de influencia de uma indústria de alumínio na Ilha de São Luís – MA.** Arquivos de Ciências do Mar 43 (2): 71 – 78, 2010.

CASTRO, J. S.; FRANÇA, C. L.; FERNANDES, J. F. F.; SILVA, J. S.; CARVALHO-NETA, R. N. F.; TEIXEIRA, E. G. Biomarcadores histológicos em brânquias de *Sciades herzbergii* (Siluriformes, Ariidae) capturados no Complexo Estuarino de São Marcos, Maranhão. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, p. 410-418, 2018.

CASTRO, J. S. *et al.* **Biomarcadores histológicos em brânquias de *Sciades herzbergii* (Siluriformes, Ariidae) capturados no Complexo Estuarino de São Marcos, Maranhão.** Arquivo Brasileiro De Medicina Veterinária E Zootecnia (Online), v. 70, p. 410-418, 2018.

CASTRO, J. S.; FRANÇA, C. L.; CARDOSO, R. L.; SILVA, W. M. M. L.; SANTANA, T. C.; SANTOS, D. M. S.; CARVALHO-NETA, R. N. F.; TEIXEIRA, E. G. Histological Changes in the Kidney of *Sciades Herzbergii* (Siluriformes, Ariidae) for Environmental Monitoring of a Neotropical Estuarine Area (São Marcos Bay, Northeastern Brazil). **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, v. 103, p. 246-254, 2019.

CENGIZ, E. I.; UNLU, E. **Sublethal effects of commercial deltamethrin on the structure of the gill, liver and gut tissues of mosquitofish, *Gambusia affinis*: A microscopic study.** Environmental Toxicology and Pharmacology, 2005.

CERVIGÓN, F. *et al.* **Fichas FAO de identificación de especies para los fines de la pesca: guía de campo de las especies comerciales marinas y de aguas salobres de la costa septentrional de Sur América.** Rome: FAO, 1992.

CHELLAPPA, S. **Morphohistology of the digestive tract of the damsel fish, *Stegastes fuscus* (Osteichthyes: Pomacentridae).** The Scientific World Journal, Article ID 787316, p. 1-9. 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA, 2004. Resolução no. 344. Diário Oficial da União, Brasília.

COOK, P.M.; ROBBINS, J.; ENDICOTT, D.D.; LODGE, K.B.; GUINEY, P.D.; WALKER, M.K., ZABEL; E.W., PETERSON, R.E.. **Effects of aryl hydrocarbon receptor-mediated early life stage toxicity on lake trout populations in Lake Ontario during the 20th Century**. Environ. Sci. Technol. 37, 3867–3877, 2003.

COSTA, M.F., NEUMANN-LEITÃO,S., SOUSA-SANTOS, L. Bioindicadores da qualidade ambiental. In: ESKINAZI-LEÇA, E., NEUMANN-LEITÃO,S.;COSTA, M.F. (Orgs.). **Oceanografia: um cenário tropical**. Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Oceanografia. Recife. 761p, 2004.

DE PAUW, N.; VANHOOREN, G. **Method for biological quality assessment of watercourses in Belgium**. Hydrobiologia, 100: 153-168, 1983.

DUMAN, Fatih; KAR, Musa. Temporal variation of metals in water, sediment and tissues of the European Chup (*Squalius cephalus* L.). **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 89, p. 428-433, 2012.

ELLIS, A.E. **Antigen-trapping in the spleen and kidney of the plaice *Pleuronectes platessa* L.** Journal of Fish Disease. v. 3, n. 5, p. 413-426, 1980.

EMAP – EMPRESA MARANHENSE DE AUTORIDADE PORTUÁRIA; FEESC FUNDAÇÃO DE ENSINO DE ENGENHARIA DE SANTA CATARINA (FEESC). **Plano de desenvolvimento e zoneamento do porto organizado do Itaqui**. Brasil, 2019.

ERKMEN, B.; KOLANKAYA, D. **Effects of water quality on epithelial morphology in the gill of *Capoeta tinca* living in two tributaries of Kizilirmak River, Turkey**. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 64(3): 418-425, 2000.

FERGUSON, H. W. **The relationship between ellipsoids and melano-macrophage centers in the spleen of turbot (*Scophthalmus maximus*)**. Journal of Comparative Pathology, v. 86, n. 3, p. 377-380, 1976.

FIGUEIREDO, José Lima; MENEZES, Naércio Aquino. **Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil. III. Teleostei (2)**. São Paulo, Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, 1980. 90 p.

FIGUEIREDO-FERNANDES, A.; FONTAÍNHAS-FERNANDES, A.; PEIXOTO, F.; ROCHA, E.; REIS-HENRIQUES, M.A. Effects of gender and temperature on oxidative stress enzymes in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* exposed to paraquat. **Pesticide biochemistry and physiology**, v. 85, n. 2, p. 97-103, 2006.

FITZSIMONS, J.D. **A critical review of the effects of contaminants on early life stage mortality of lake trout in the Great Lakes**. J. Great Lakes Res. 21 (Suppl. 1), 267–276, 1995.

FONTAÍNHAS-FERNANDES, A.; LUZIO, A.; GARCIA-SANTOS, S.; CARROLA, J.; & MONTEIRO, S. Gill histopathological alterations in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* exposed to treated sewage water. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, p. 1057-1063, 2008.

FOSSI, Cristina; LEONZIO, Claudio. **Nondestructive biomarkers in vertebrates**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 1993.

FROESE, R. **Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations**. Journal of Applied Ichthyology, v. 22, n. 4, p. 241-253, 2006.

FROESE, R.; PAULY, D. 2020. **FishBase**. Disponível em: <https://www.fishbase.se/summary/951>. Acesso em 15 de novembro de 2020.

GARCIA-SANTOS, S.; MONTEIRO, S. M.; CARROLA, J.; FONTAÍNHAS-FERNANDES, A. Alterações histológicas em brânquias de tilápia nilótica *Oreochromis niloticus* causadas pelo

cádmio. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 59, n. 2, p. 376-381, 2007.

GOSS, G. G. FRYER, J. N.; LAURENT, P. Gill morphology and acid-base regulation in freshwater fishes. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 119, n. 1, p. 107-115, 1998.

GURGEL, H.C.B.; C.Q. ALBUQUERQUE; D.S.L. SOUZA; G. BARBIERI. **Aspectos da biologia pesqueira em fêmeas de *Cathorops spixii* do estuário do rio Potengi, Natal/RN, com ênfase nos índices biométricos.** *Acta Scientiarum* 22 (2): 503-505, 2000.

HERRAEZ, M.P.; ZAPATA, A.G. **Structure and function of the melano-macrophage centers of the goldfish *Carassius auratus*.** *Veterinary Immunology and Immunopathology*. v. 12, n. 1-4, p. 117-126, 1986.

HIBIYA, Takashi. **An Atlas of Fish Histology: Normal and pathological features.** Tokyo: Kodansha Ltd., 1982.

HINTON, D.E.; LAURÉN, D.J. Integrative histopathological effects of environmental stressors on fishes. **American Fisheries Society Symposium**, n. 8, p. 51-66, 1990.

HUGHES, G. M. An introduction to the study of gills. In: HOULIHAN, D. F.; RANKIN, J. C.; SHUTTLEWORTH, T. J. **Gills**. Cambridge: Cambridge University Press, 1982. p. 1-24.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas do Estado do Maranhão**. Rio de Janeiro, 1984. 104 p.

ITO, K. M. **Histopatologia de brânquia e fator de condição de *Astyanax aff. paranae* (PISCES) como indicadores de contaminação aquática no centro-noroeste do Paraná.** 2013. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

JEROME, F. C.; HASSAN, A.; OMONIYI-ESAN, G.O.; ODUJOKO, O. O. CHUKWUKA, A. V. Metal uptake, oxidative stress and histopathological alterations in gills and hepatopancreas of *Callinectes amnicola* exposed to industrial effluent. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 139, p. 179-193, 2017.

JESUS, T. B.; CARVALHO, C. E. V. Utilização de biomarcadores em peixes como ferramenta para a avaliação de contaminação ambiental por mercúrio (Hg). **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, p. 680-693, 2008.

JESUS, W. B. D.; OLIVEIRA, S. R. S. D.; ANDRADE, T. S. O. M.; SOUSA, J. B. M.; PINHEIRO-SOUSA, D. B.; SANTOS, D. M. S.; CARDOSO, W. S.; CARVALHO-NETA, R. N. F. Biological responses in gills and hepatopancreas of *Ucides cordatus* (Crustacea, Decapoda, Ocypodidae) as indicative of environmental contamination in mangrove areas in Maranhão State, Brazil. **Latin american journal of aquatic research**, v. 48, n. 2, p. 226-236, 2020.

JOHNSON, B. L. **Neurobehavioral toxicology in the 21st century: a future or a failure?**. Environmental Research 62: 114-124, 1993.

KAPPEL, R. F. **Os Portos Brasileiros Frente à Ciência, Tecnologia e Inovação: CGEE, III Conferência Nacional de C, T & I**, p. 1 – 31, 2005.

KIME, D. E. **Endocrine disruption in fish**. MA: Kluwer Academic Publishers, 1998. p.325-396

KIME, D. E. A strategy for assessing the effects of xenobiotics on fish reproduction. **Science of the total environment**, v. 225, n. 1-2, p. 3-11, 1999.

LÉ CREN, E. D. The lenght-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and conditions in the perch *Perca fluviatilis*. **Journal of Animal Ecology**, London, v. 20, n. 2, p. 201-219, 1951.

LIMA-JUNIOR, S. E.; GOITEIN, R. **Fator de condição e ciclo gonadal de fêmeas de *Pimelodus maculatus* (Osteichthyes, Pimelodidae) no rio Piracicaba (SP, Brasil).** Boletim do Instituto de Pesca, v. 32, n. 1, p. 87-94, 2006.

LINS, J.A.P.N.; KIRSCHNIK. P.G.; QUEIROZ, V.S; CIRIO, S.M.; **Uso de peixes como biomarcadores para monitoramento ambiental aquático.** Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient., Curitiba, v. 8, n. 4, p. 469-484, 2010.

MACEDO, G. H. R. V., SILVA, J. C., JESUS, W. B., TORRES, H. S., ROSA, R. G., CARVALHO-NETA, R. N. F. C.; SOUSA, D. B. P. Biomarkers of oxidative stress in an estuarine catfish species caught near a port complex on the Brazilian Amazon coast. **Regional Studies in Marine Science**, v. 69, p. 103306, 2024.

MARANHÃO. Secretária de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais. **Unidades de Conservação (Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense).** Disponível em: <http://www.sema.ma.gov.br/>. Acesso em 27 de jun 2019.

MARANHÃO. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Turismo do Maranhão. **Diagnostico dos principais problemas ambientais de Estado do Maranhão.** São Luís: LITHOGRAG, 194p. 2011.

MARCENIUK, A. P. **Chave para identificação das espécies de bagres marinhos (Siluriformes, Ariidae) da costa brasileira.** Boletim do Instituto de Pesca, São Paulo, 31(2): 89 - 101, 2005.

MESSEGUER, J.; LOPEZ-RUIZ, A.; ESTEBAN, M.A. **Melano-macrophages of the seawater teleosts, sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and gilthead seabream (*Sparus aurata*): morphology, formation and possible function.** Cell Tissue Research, v. 277, n. 1, p. 1-10, 1994.

MIR, J. I.; SARKAR, U. K.; DWIVEDI, A. K.; GUSAIN, O. P.; PAL, A.; JENA, J. K. **Pattern of intrabasin variation in condition factor, relative condition factor and form factor of an Indian Major Carp, *Labeo rohita* (Hamilton-Buchanan, 1822) in the Ganges Basin, India.** European Journal of Biological Sciences 4: 126-135, 2012.

MUNRO, Angus D.; SCOTT, Alexander P.; LAM, T. J. **Reproductive seasonality in Teleosts: environmental influences**. Flórida: CRC Press, 1990.

MYLONAS, C. C, FOSTIER, A. ZANUY, S. **Broodstock management and hormonal manipulations of fish reproduction**. General and Comparative Endocrinology, v.165, p.516-534, 2010

NOGUEIRA, D. J.; CASTRO; S. C.; SÁ, O. R. Avaliação da qualidade da água no reservatório UHE Furnas - MG, utilizando as brânquias de *Pimelodus maculatus* (LACÈPÈDE, 1803) como biomarcador de poluição ambiental. **Ciência et Praxis**, Passos, v. 1, n.1, p. 15-20, 2008.

OLIVEIRA, D. M e FRÉDOU, F. L. **Caracterização e dinâmica espaço-temporal da atividade pesqueira na Baía de Marajóestuário Amazônico**. Arquivos de Ciências do Mar. Fortaleza, 44(3): 40 – 53. 2011.

OLIVEIRA, S. R. S.; BATISTA, W. D. S.; SOUSA, J. B. M.; NOLETO, K. S.; AROUCHE LIMA, I. M.; ANDRADE, T. S. M.; CARDOSO, W. S. ; CARVALHO NETA, R. N. F. Enzymatic and Histological Biomarkers in *Ucides cordatus* (Crustacea, Decapoda) in an Industrial Port on the North Coast of Brazil. **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, v. 102, p. 802-810, 2019.

PEDROZO, M. D. F. M.; BARBOSA, E. M.; CORSEUIL, H. X.; SCHNEIDER, M. R.; LINHARES, M. M. **Ecotoxicologia e avaliação de risco do petróleo**. Salvador: Centro de Recursos Ambientais, 2002.

PEREIRA, B. L.; CINTRA, B. FONSECA, V. E. LUNA, H. S.; SIMPAN, H. S. Índice gonadosomático como indicador do período Reprodutivo de *Prochilodus lineatus* (pisces, characidae) nos Rios Aquidauana e Miranda, MS. In: **Simpósio Sobre Recursos Naturais e Sócio-Econômicos do Pantanal**. Anais. Corumbá/MS. 2004.

PEREIRA, N.J., SANTOS, M.M., SILVA MAIÃO, J.P.L., CAMPOS, J.S.P., SILVA, N.D., MENDES, D.C.S. and SANTOS, D.M.S., Histological biomarkers in fish gills in the

assessment of environmental contamination of the Mearim River, northeastern Brazil. *Brazilian Journal of Development*, vol. 6, no. 9. 2020.

PÉREZ, M. R. *et al.* **In situ evaluation of the toxicological impact of a wastewater effluent on the fish *Prochilodus lineatus*: biochemical and histological assessment.** *Ecological Indicators* 84: 345–353, 2018.

PINHEIRO, P.; M.K. BROADHURST; F.H.V. HAZIN; T. BEZERRA; S. HAMILTON. **Reproduction in *Bagre marinus* (Ariidae) off Pernambuco, northeastern Brazil.** *Journal of Applied Ichthyology* 22: 189-192, 2006.

PINHEIRO-SOUSA, D. B.; SOARES, S. H. C.; TORRES, H. S.; JESUS, W. B.; OLIVEIRA, S. R. S.; BASTOS, W. R.; RIBEIRO, C. A. O.; CARVALHO-NETA, R. N. F. Sediment contaminant levels and multibiomarker approach to assess the health of catfish *Sciades herzbergii* in a harbor from the northern Brazilian Amazon. ***Ecotoxicology and Environmental Safety***, v. 208, p. 111540, 2021.

PINHEIRO-SOUSA, D. B.; LIMA, M. I. S.; GONÇALVES, R. M.; SANTOS, D. M. S.; CARVALHO NETA, A. V.; BENJAMIM, L. A.; CARVALHO-NETA, R. N. F. Interaction between Benzo [a] anthracene 7, 2-dione 7-oxime (BZA) and calf thymus dsDNA using electroanalytical genosensor. ***Analytical Biochemistry***, v. 657, p. 114905, 2022.

PRATT, J. M.; COLER, R. A. **A procedure for the routine biological evaluation of urban runoff in small rivers.** *Water Research*, 10:1019-1025, 1976.

QUEIROGA, F. R.; GOLZIO, J. E.; SANTOS, R. B.; MARTINS, T. O.; VENDEL, A.L.; **Reproductive biology of *Sciades herzbergii* (Siluriformes: Ariidae) in a tropical estuary in Brazil.** *ZOOLOGIA* 29 (5): 397–404, 2012.

QUEROL, M. V. M.; QUEROL, E.; GOMES, N. N. A. **Fator de condição gonadal, índice hepatossomático e recrutamento como indicadores do período de reprodução de**

Loricariichthys platymetopon (Osteichthyes, Loricariidae), Bacia do Rio Uruguai Médio, Sul do Brasil. Iheringia, Série Zoologia, v. 92, n. 3, p. 79-84, 2002.

RAGUNATHAN, M. G. Vicissitudes of oxidative stress biomarkers in the estuarine crab *Scylla serrata* with reference to dry and wet weather conditions in Ennore estuary, Tamil Nadu, India. **Marine Pollution Bulletin**, v. 116, p.113–120, 2017.

RAMOS, R. S.; CASTRO, A. C. L. Monitoramento das variaveis fisico-quimicas no cultivo de *Crassostrea rhizophorae* (Mollusca) (Guilding, 1928) no estuário de Paquatua - Alcantara/MA, Brasil. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 17, p. 29-42, 2004.

RAND, Gary M.; PETROCELLI, Sam R. **Fundamentals of Aquatic Toxicology: Methods and Applications**. Washington: Hemisphere Publishing Corporation, 1985.

RAND, Gary M. **Fundamentals of aquatic toxicology: effects, environmental fate, and risk assessment**. 2. ed. Washington: Taylor & Francis, 1995.

RASKOVIC, B. *et al.* **Histological methods in the assessment of different feed effects on liver and intestine of fish**. Journal of Agricultural Sciences 56(1):87-100, Belgrade, 2011.

REIS, A. B. *et al.* **The influence of the aquatic environment in tanks sequetially interconnected with PVC pipes on the gill epithelium and lamellas of tilapia (*Oreochromis niloticus*)**. Pesquisa Veterinaria Brasileira 29(4): 303-311, 2009.

ROQUES, J. A.; SCHRAM, E.; SPANINGS, T.; VAN SCHAİK, T.; ABBINK, W.; BOERRIGTER, J.; VRIES, P.; FLIK, G. The impact of elevated water nitrite concentration on physiology, growth and feed intake of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). **Aquaculture Research**, v. 46, n. 6, p. 1384-1395, 2015

SALGADO, L. D. et al. Integrated assessment of sediment contaminant levels and biological responses in sentinel fish species *Atherinella brasiliensis* from a sub-tropical estuary in south Atlantic. **Chemosphere**, v. 219, p. 15-27, 2019.

SANTOS, D. M. S. *et al.* **Microbiological water quality and gill histopathology of fish from fish farming in Itapecuru-Mirim County, Maranhão State.** Acta Scientiarum. Biological Sciences, v. 34, n. 2, p. 199–205, 2011.

SCHMIDT, T.C.S., MARTINS, I.A., REIGADA, A.L.D; DIAS, J.F. **Taxocenose de bagres marinhos (Siluriformes, Ariidae) da região estuarina de São Vicente, SP, Brasil.** Biota Neotropical 8(4): 73-81, 2008.

SILVA A. G. Alterações histopatológicas de peixes como biomarcadores da contaminação aquática. 2004. 80 F. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Área de Concentração Zoologia). Universidade Estadual de Londrina, Paraná, 2004.

SOARES, S. H. C.; SOUSA, D. B. P.; DE JESUS, W. B.; CARVALHO-NETA, R. N. F. Biomarcadores histológicos em *Sciades herzbergii* (Pisces, Ariidae) para avaliação de impactos em ambientes estuarinos da Baía de São Marcos, Maranhão. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 72, p. 1403-1412, 2020.

SOUZA, D.B.P.; ALMEIDA, Z.S.; CARVALHO-NETA, R.N.F. Biomarcadores em duas espécies de bagres estuarinos da costa maranhense. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 65, p. 369-376, 2013.

SOUZA-FILHO, P. W. M. **Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos.** Revista Brasileira de Geofísica, v. 4, n. 23, p. 427-435, 2005.

SUDENE. **Pesquisas dos Recursos Pesqueiros da Plataforma Continental Maranhense.** Recife: SUDENE/ Governo do Estado do Maranhão. Series de Estudos de Pesca, 6: 67 p. 1983.

TORRES, H. S., BARROS, M. F. S., JESUS, W. B., KOSTEK, L. S., PINHEIRO-SOUSA, D. B., & CARVALHO NETA, R. N. F. Impacted estuaries on the Brazilian Amazon coast near port regions influence histological and enzymatic changes in *Sciades herzbergii* (Ariidae, Bloch, 1794). **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. e271232, 2023.

TORRES, H. S. **Biomarcadores histopatológicos em duas espécies de bagres (Pisces, Ariidae) de importância econômica na baía de São Marcos, Maranhão**. 2015. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Recursos Aquáticos e Pesca. Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2015.

VAN DER OOST, R.; BEYER, J.; VERMEULEN, N. P. E. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: A review. **Environmental toxicology and pharmacology**, v. 13, n. 2, p. 57-149, 2003.

VAZZOLER, Anna Emilia Amato de Moraes. **Manual de métodos para estudos biológicos de população de peixes: Reprodução e crescimento**. Brasília, CNPq – Programa Nacional de Zoologia, 108p, 1981.

VAZZOLER, Anna Emilia Amato de Moraes. **Biologia da reprodução de peixes teleósteos: Teoria e prática**. Maringá, EDUEM, 1996. 169p.

VELASCO, G.; REIS, E. G.; VIEIRA, J.P. Calculating growth parameters of *Genidens barbus* (Siluriformes, Ariidae) using length composition and age data. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 23, n. 1, p. 64-69, 2007.

VIANA, HELLEN CUNHA. **Monitoramento da qualidade ambiental com uso de biomarcadores histológicos em *Sciades herzbergii* (Pisces, Ariidae) e *Bagre bagre* (Pisces, Ariidae) em um sistema estuarino no nordeste amazônico**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Recursos Aquáticos e Pesca. Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2018.

VIANA, H. C.; SILVA, S. K. L; JORGE, M. B; SILVA, M. H. L; SANTOS, D. M. S.; CARVALHO NETA, R. N. F. Histopathology analysis of *Sciades herzbergii* (Pisces, Ariidae) and Bagre bagre (Pisces, Ariidae) gills to assess environmental pollution. **Applied Ecology & Environmental Research**, v. 19, n. 4, 2021.

WALKER, C.H.; HOPKIN, S.P.; SIBLY, R.M.; PEAKALL, D.B. **Principles of ecotoxicology**. London, Taylor & Francis. 321p, 1996.

WOO, P.T.K.; SIN, Y.M.; WONG, M.K. The Effects of short-term acute cadmium exposure on blue tilapia, *Oreochromis aureus*. **Environmental Biology of Fishes**, v. 37, p. 67-74, 1993.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Biological monitoring of chemical exposure in the workplace**. Geneva: ONU, 1996. Vol. 1-2.

YAMAMOTO, F.Y., ONISHI, K., RALHA, T.R., SILVA, L.F.O., DEDA, B., PESSALI, T.Y.C., SOUZA, C., OLIVEIRA RIBEIRO, C.A., ABESSA, D.M.S., 2023. Earlier biomarkers in fish evidencing stress responses to metal and organic pollution along the Doce River Basin. **Environmental Pollution**, v. 329, p. 121720, 2023.

YANEZ-ARANCIBIA, A. *et al.* **Seasonal biomass and diversity of estuarine fishes coupled with tropical habitat heterogeneity (southern Gulf of Mexico)**. Journal of Fish Biology 33: p. 191-200, 1988.

ZUASTI, A.; JIMENEZ-CERVANTES, C.; GARCIABORON, J.C; SERRER, C. **The melanogenic system of *Xenopus laevis***. Archives für Histologie and Cytologie, v. 61, n. 4, p. 305-316, 1998.