

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

CENTRO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA E BIOLOGIA
MESTRADO EM RECURSOS AQUÁTICOS E PESCA

HETTY SALVINO TORRES

**BIOMARCADORES HISTOPATOLÓGICOS EM DUAS ESPÉCIES DE
BAGRES (PISCES, ARIIDAE) DE IMPORTÂNCIA ECONÔMICA NA BAÍA DE
SÃO MARCOS, MARANHÃO**

São Luís – MA

2015

HETTY SALVINO TORRES

**BIOMARCADORES HISTOPATOLÓGICOS EM DUAS ESPÉCIES DE
BAGRES (PISCES, ARIIDAE) DE IMPORTÂNCIA ECONÔMICA NA BAÍA DE
SÃO MARCOS, MARANHÃO**

Dissertação apresentada em
cumprimento às exigências do Programa
de Pós-Graduação em Recursos
Aquáticos e Pesca da Universidade
Estadual do Maranhão.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Raimunda
Nonata Fortes Carvalho Neta

Co-Orientadora: Prof^a. Dr^a. Zafira da
Silva de Almeida

São Luís – MA

2015

HETTY SAVINO TORRES

**BIOMARCADORES HISTOPATOLÓGICOS EM DUAS ESPÉCIES DE
BAGRES (PISCES, ARIIDAE) DE IMPORTÂNCIA ECONÔMICA NA BAÍA DE
SÃO MARCOS, MARANHÃO**

Dissertação apresentada em
cumprimento às exigências do Programa
de Pós-Graduação em Recursos
Aquáticos e Pesca da Universidade
Estadual do Maranhão.

Aprovada em ____/____/____

Banca examinadora

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

Prof. Dra. Natilene Mesquita Brito
Instituto Federal do Maranhão (IFMA)

2ª Examinador

Prof. Dra. Débora Martins Silva Santos
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

3ª Examinador

Torres, Hetty Salvino

Biomarcadores histopatologias em duas especies de bagres (Pisce, Ariidae) de importância econômica na Baía de São Marcos Maranhão/Hetty Salvino Torres – São Luís, 2015.

86f.

Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Recursos Aquáticos e Pesca. Universidade Estadual do Maranhão, 2015.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª Raimunda Nonata Fortes Carvalho Neta

1. Alterações morfológicas. 2. Bagres 3. Biomonitoramento. I. Título

CDU:616091.8:597.315

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo geral	17
2.2 Objetivos específicos	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 Monitoramento Ambiental.....	18
3.2 Monitoramento ambiental em regiões portuárias	19
3.3 Bioindicadores para monitoramento de áreas portuárias	22
3.4 Biomarcadores para monitoramento ambiental	23
3.5 Tipos de biomarcadores	24
3.6 Lesões branquiais como biomarcadores em peixes	26
3.7 <i>Sciades herzbergii</i> e <i>Bagre bagre</i> como modelos biológicos para avaliação de impactos na Baía de São Marcos	28
3.7.1 <i>Sciades herzbergii</i>	28
3.7.2 <i>Bagre bagre</i>	29
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
4.1 Área de estudo	31
4.2 Determinação das áreas amostrais na Baía de São Marcos e coleta dos peixes.....	32
4.3 Obtenção dos dados biométricos.....	33
4.4 Análises histopatológicas.....	34
4.5 Análises estatísticas	34
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
5.1 Biometria em <i>Sciades herzbergii</i>	34
5.2 Histopatologia em <i>S. herzbergii</i>	37
5.3 Estágios de maturação gonadal de <i>S. herzbergii</i>	44
5.4 Sanidade das populações de <i>S. herzbergii</i> da Baía de São Marcos.....	45
5.5 Biometria em <i>Bagre bagre</i>	48
5.6 Histopatologia em <i>Bagre bagre</i>	50
5.7 Estágios de maturação gonadal de <i>Bagre bagre</i>	53

5.8 Sanidade das populações de <i>Bagre bagre</i> da baía de São Marcos.....	54
6 CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Exemplar de <i>Sciades herbergii</i> (Bloch, 1794), capturado na Baía de São Marcos-MA.....	29
Figura 2	- Exemplar de <i>Bagre bagre</i> (Linnaeus, 1766) capturado na Baía de São Marcos, Maranhão.....	30
Figura 3	- Localização da Baía de São Marcos, Maranhão. FONTE: Adaptado pela autora a partir de Zoneamento Costeiro do Estado do Maranhão (2003)	31
Figura 4	- Localização de três pontos de coleta na regio portuária e na Ilha dos Caranguejos, Baía de São Marcos, Maranhão	32
Figura 5	- Fotomicrografia do primeiro arco branquial direito de exemplares de <i>S. herzbergii</i> coletados na Ilha dos Caranguejos, Baía de São Marcos. Detalhe de filamentos branquiais mostrando duas lamelas primárias normais (seta). Barra = 100 µm	37
Figura 6	- Fotomicrografia do primeiro arco branquial direito de exemplares de <i>S. herzbergii</i> coletados na Baía de São Marcos. Detalhe de filamentos branquiais mostrando fibrose (setas). Barra = 240x.....	38
Figura 7	- Fotomicrografia do primeiro arco branquial direito de exemplares de <i>S. herzbergii</i> coletados na Baía de São Marcos. Detalhe de filamentos branquiais mostrando uma lamela primária com estreitamento lamelar (seta). Barra = 100 µm	39
Figura 8	- Fotomicrografia do primeiro arco branquial direito de exemplares de <i>S. herzbergii</i> coletados na Baía de São Marcos. Detalhe de filamentos branquiais mostrando uma lamela secundária com fusão (*). Barra = 100 µm	40
Figura 9	- Fotomicrografia do primeiro arco branquial direito de exemplares de <i>S. herzbergii</i> coletados na Baía de São Marcos. Detalhe de filamentos branquiais mostrando descolamento do epitélio da lamela secundária (setas). Barra = 50µm	41
Figura10	- Fotomicrografia do primeiro arco branquial direito de exemplares de <i>S. herzbergii</i> coletados na Baía de São Marcos. Detalhe das lamelas mostrando células mucosas (setas). Barra = 340x	42
Figura11	- Fotomicrografia do primeiro arco branquial direito de exemplares de <i>S. herzbergii</i> coletados na Baía de São Marcos. Detalhe das	

	lamelas secundárias mostrando um parasito (setas). Barra = 120x	43
Figura12	- Fotomicrografia do primeiro arco branquial direito de exemplares de <i>B.bagre</i> coletados na Ilha dos Caranguejos, Baía de São Marcos. Detalhe de filamentos branquiais mostrando duas lamelas primárias normais (seta). Barra = 50 µm	50
Figura13	- Fotomicrografia do primeiro arco branquial direito de exemplares de <i>B.bagre</i> coletados na Baía de São Marcos. Detalhe de filamentos branquiais mostrando uma lamela primária com estreitamento lamelar (seta). Barra = 50 µm	51
Figura14	- Fotomicrografia do primeiro arco branquial direito de exemplares de <i>B.bagre</i> coletados na Baía de São Marcos. Detalhe de filamentos branquiais mostrando aneurisma em lamelas secundárias (seta). Barra = 50 µm	51
Figura15	- Fotomicrografia do primeiro arco branquial direito de exemplares de <i>B.bagre</i> coletados na Baía de São Marcos. Detalhe de filamentos branquiais mostrando uma lamela secundária com fusão lamelar (seta). Barra = 50 µm	52
Figura16	- Fotomicrografia do primeiro arco branquial direito de exemplares de <i>B.bagre</i> coletados na Baía de São Marcos. Detalhe de filamentos branquiais mostrando uma lamela secundária com elevação do epitélio (seta). Barra = 50µm	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Dados biométricos e índice gonadossomático de <i>S. herzbergii</i> na época chuvosa capturados pela pesca artesanal na Baía de São Marcos, Maranhão, Brasil.....	33
Tabela 2	- Análise estatística dos dados biométricos de <i>S. herzbergii</i> na época chuvosa capturados pela pesca artesanal na região portuária e Ilha dos Caranguejos, na Baía de São Marcos, Maranhão, Brasil.	35
Tabela 3	- Dados biométricos e índice gonadossomático de <i>S. herzbergii</i> na época de estiagem capturados pela pesca artesanal na Baía de São Marcos, Maranhão, Brasil.....	36
Tabela 4	- Análise estatística dos dados biométricos de <i>S. herzbergii</i> na época estiagem capturados pela pesca artesanal na região portuária e Ilha dos Caranguejos, na Baía de São Marcos, Maranhão, Brasil.....	36
Tabela 5	- Porcentagem de estágios de maturação gonadal de macho e fêmea de <i>S. herzbergii</i> capturados na Baía de São Marcos, Maranhão.....	44
Tabela 6	- Patologias observadas, fator de importância (w) e percentual de lesões (%) em <i>Sciades herzbergii</i> da Baía de São Marcos no período chuvoso, Maranhão, Brasil.....	46
Tabela 7	- Patologias observadas, fator de importância (w) e percentual de lesões (%) em <i>Sciades herzbergii</i> da Baía de São Marcos no período de estiagem, Maranhão, Brasil.....	47
Tabela 8	- Dados biométricos e índice gonadossomático de <i>B. bagre</i> na época chuvosa capturados pela pesca artesanal na Baía de São Marcos, Maranhão, Brasil.....	48
Tabela 9	- Análise estatística dos dados biométricos de <i>B. bagre</i> na época chuvosa capturados pela pesca artesanal na região portuária e Ilha dos Caranguejos, na Baía de São Marcos, Maranhão, Brasil	48
Tabela10	- Dados biométricos e índice gonadossomático de <i>B. bagre</i> na época de estiagem capturados pela pesca artesanal na Baía de São Marcos, Maranhão, Brasil.....	49
Tabela11	- Análise estatística dos dados biométricos de <i>B. bagre</i> na época	

	estiagem capturados pela pesca artesanal na região portuária e Ilha dos Caranguejos, na Baía de São Marcos, Maranhão, Brasil...	49
Tabela12	- Porcentagem de estágios de maturação gonadal de macho e fêmea de <i>B. bagre</i> capturados na Baía de São Marcos, Maranhão, Brasil.	53
Tabela13	- Patologias observadas, fator de importância (w) e percentual de lesões (%) em <i>Bagre bagre</i> da Baía de São Marcos no período chuvoso, Maranhão, Brasil.....	54
Tabela14	- Patologias observadas, fator de importância (w) e percentual de lesões (%) em <i>Bagre bagre</i> da Baía de São Marcos no período de estiagem, Maranhão, Brasil.....	55

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.
(Madre Teresa de Calcutá)

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê”. (Arthur Schopenhauer)

Dedico esse trabalho a todos aqueles que contribuíram para a realização desta pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais uma etapa concretizada e, especialmente, pelo amadurecimento profissional, pessoal e espiritual.

À toda minha família, em especial, meu esposo José Fernando Torres, meus filhos amados, Matthéus Torres, Sarah Torres e Alice Torres as minhas irmãs Cidia Salvino, Joelma Salvino, as minhas sobrinhas Aparecida Barbosa e Vanessa, obrigada pelo apoio e compreensão pelos momentos de ausência durante a realização do trabalho. Amo vocês!

À todos os meus amigos/as, que de alguma forma, contribuíram nessa caminhada: Débora Batista, Raquel Maranhão, Wanda Batista, Elielma Lima e Suelen Sampaio. Em muitos momentos o apoio de vocês foi indispensável. Obrigada!

À minha orientadora, professora Raimunda Fortes, pela confiança depositada ao longo desse trabalho. Seguramente, sua percepção e ensinamentos me ajudaram a enfrentar todos os desafios durante a caminhada e a apurar as ideias para esta dissertação.

Aos Laboratório de Biomarcadores em Organismos Aquáticos – LABOAQ e Laboratório de Pesca e Ecologia Aquática – LABPEA, pelo suporte e ao grupo de pesquisa em Ecotoxicologia e Biomonitoramento de Ecossistemas Aquáticos – GEPEMAQ, pelos momentos de estudos.

À primeira turma do Programa de Pós-Graduação em Recursos Aquáticos e Pesca (PPGRAP). Obrigada! Foi uma experiência enriquecedora para a minha formação acadêmica. Aprendi muito com cada um dos 11 alunos dessa turma. Débora Batista, Rômulo Soares, e Karla Bitencourt vocês foram especiais nessa jornada. Muito Obrigada!

À todo corpo administrativo e técnico do PPGRAP. Ana Paula e Hillana, obrigada por atuarem com zelo e compromisso no funcionamento desse programa.

Aos professores do PPGRAP. Obrigada pela paciência e incentivo nessa jornada tão árdua.

À UEMA e ao PPGRAP pela minha formação acadêmica.

À FAPEMA pela bolsa concedida.

RESUMO

No presente estudo, objetivou-se comparar biomarcadores histológicos em populações naturais de *Sciades herzbergii* e *Bagre bagre* capturados pela pesca artesanal em dois locais diferenciados da Baía de São Marcos (Maranhão). Exemplares de *Sciades herzbergii* e *Bagre bagre* foram coletados semestralmente entre os anos de 2013, 2014 e à 2015 em dois locais distintos da Baía de São Marcos: A1) região potencialmente contaminada (Complexo portuário de São Luís-MA); A2) área de referência (Ilha dos Caranguejos). A biometria dos peixes foi realizada em laboratório. Depois de pesados e medidos, os exemplares amostrados foram necropsiados para observação e classificação macroscópica das gônadas. As brânquias foram retiradas e fixadas em formol a 10%, empregando-se para tanto, aos três primeiros arcos branquiais técnicas histológicas usuais. Cortes de aproximadamente 5 µm de espessura foram corados com Hematoxilina e Eosina (HE). Os dados de comprimento total e furcal foram sempre menores para os bagres da área de referência (A2) quando comparados com a área portuária (A1). No entanto, foi observado que o peso total (Wt) e os estágios de maturação gonadal (GSI) foram maiores para as fêmeas na Ilha dos Caranguejos. Foram identificadas as seguintes lesões branquiais nos peixes (de ambas as espécies) coletados na região potencialmente contaminada (A1) e na área de referência (A2): estreitamento lamelar, fusão das lamelas secundárias, descolamento do epitélio das lamelas secundárias, aneurisma lamelar e fribrose. Além do registro de células mucosas e parasitos. Na área de referência (A2) foram encontradas as mesmas alterações apenas nos exemplares da espécie *B. bagre*. Na área de referência (A2) a espécie *S. herzbergii* apresentou lesões braquias em uma proporção menor em relação a A1 citadas, sugerindo que esse táxon é o melhor grupo para análise de biomarcadores de contaminação aquática, já que permite uma comparação confiável entre as áreas analisadas. Os dados obtidos revelam que metodologias de baixo custo (biomarcadores) para avaliação de impactos antrópicos em áreas ambientalmente distintas da Baía de São Marcos podem ser utilizadas em programas de monitoramento da região.

Palavras-chave: Alterações histopatológicas, Bagre, Monitoramento.

ABSTRACT

In the present study aimed to compare histological biomarkers in natural populations of *Sciades herzbergii* and *Bagre catfish* caught by artisanal fishing in two different locations in São Marcos Bay (Maranhão). Specimens of *Sciades herzbergii* and *Bagre bagre* were caught semi-annually in the years 2013, 2014 and 2015 at two sites in São Marcos' Bay: (A1) potentially contaminated area (complex port, Sao Luis-MA); (A2) reference area (Ilha dos Caranguejos). Biometrics fish was performed in the laboratory. After weighed and measured, the specimens collected were necropsied and open to observation and macroscopic classification of gonad. Gills were fixed in 10% formalin and usual histological techniques were used in the first gill arch right, with inclusion in paraffin and sections of 5 µm thickness were stained with hematoxylin and eosin (HE). Data on total length and fork were always lower for the catfish from the reference area (A2) compared to the port area (A1). However, was observed that the total weight (Wt) and the gonadal maturation stages (GSI) were higher for females on Ilha dos Caranguejos. We identified the following gill in fish (both species) collected in the area potentially contaminated (A1) and reference area (A2): narrowing lamellar, fusion of secondary lamellae, lifting of the lamellar epithelium, lamellar aneurysm and fibrosis. Besides, the record mucus cell and parasites. In the reference area (A2) the same changes were found only for species *B. bagre*. In the reference area (A2) gill changes showed in a smaller proportion to the A1 cited, suggesting that this taxon is the best group for analysis of biomarkers of aquatic contamination, since it allows a reliable comparison between the areas analyzed. The data showed that use of low-cost methods (biomarkers) to assess human impacts on environmentally distinct areas at São Marcos' Bay may be used in monitoring programs in the region.

Keywords: Histopathological changes, catfish, monitoring.

1 INTRODUÇÃO

Nos complexos portuários são muitos os agentes potencialmente contaminantes aos organismos aquáticos. Alguns desses contaminantes causam alterações graves nas comunidades aquáticas, mas são pouco estudados pelos órgãos responsáveis pela gestão ambiental (VALDEZ DOMINGOS, 2006).

Valdez Domingos (2006) ressalta que diante das múltiplas fontes de impacto antropogênico sobre as regiões costeiras (a exemplo dos organofosforados, organoclorados, metais pesados, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, organoestanhos e outros) faz-se necessário o desenvolvimento e a padronização de metodologias e de biomarcadores que possam contribuir para a avaliação e diagnóstico dos impactos a que estão sujeitas estas regiões no Brasil.

No Brasil, os casos de contaminação ambiental ainda não são monitorados adequadamente em todas as regiões costeiras, pois não existem dados pretéritos que estabeleçam um histórico de diagnóstico na maioria dos ecossistemas brasileiros. Todavia, é crescente nos últimos anos um grande volume de dados acerca de estudos utilizando biomarcadores de contaminação aquática como instrumento rápido e seguro para a monitorização de impactos ambientais de regiões costeiras do país, conforme Amado et al., (2006); Montes; Ferreira; Santos, (2010); Sáenz et al., (2010); Rola et al., (2012); Carvalho-Neta et al., (2010, 2011, 2012, 2013, 2014).

Estudos indicam que o uso de biomarcadores permite um diagnóstico eficaz sobre os efeitos dos poluentes que afetam os peixes de regiões portuárias (VALDEZ DOMINGOS, 2006). A proposta da padronização de biomarcadores sensíveis em espécies icticas em pontos distintos da Baía de São Marcos como subsídio ao monitoramento ambiental têm revelado um diagnóstico mais detalhado e seguro sobre a saúde das populações icticas e dos ecossistemas estuarinos da costa maranhense (CARVALHO-NETA, 2010; CARVALHO-NETA; ABREU-SILVA, 2010; SOUSA; CARVALHO-NETA, 2011; CARVALHO-NETA; TORRES; ABREU-SILVA, 2012; SOUSA; ALMEIDA; CARVALHO-NETA, 2012).

Os peixes conhecidos como bagre “guribu” (*Sciades herzbergii*) e “bandeirado” (*Bagre bagre*) são espécies de vários corpos hídricos do Maranhão e são comumente capturados nas pescarias artesanais e consumidos pela população maranhense, tendo um grande valor comercial. Esses bagres pertencem à família Ariidae e ocorrem nas zonas

litorâneas tropicais e subtropicais, em ambientes marinhos, estuarinos e de água doce, sendo geralmente abundantes em águas costeiras com fundo lodoso e pouco profundo (ARAÚJO et al., 2004). As comunidades pesqueiras que capturam essas espécies nas proximidades de áreas potencialmente contaminadas (portos, indústrias diversas), vendem o pescado em mercados de vários bairros de São Luís.

Não existem informações aprofundadas sobre a qualidade desse pescado capturado localmente e que chega à mesa do consumidor. Esse fato aponta para a necessidade de monitoramento ambiental capaz de detectar os efeitos dos xenobiontes nessas espécies de peixes que são capturadas em regiões com forte pressão antrópica, a fim de subsidiar programas de manejo e de vigilância sanitária.

O funcionamento inadequado de grandes complexos portuários ao longo da região costeira brasileira é responsável em grande parte pela contaminação aquática. Todavia, estudos de biomonitoramento com a utilização de espécies ícticas ainda são restritos em grande parte das águas estuarinas do Brasil, em especial na Baía de São Marcos, onde se encontra instalado o Complexo Portuário de São Luís, responsável pela maioria das exportações do Maranhão e de grande importância no cenário econômico nacional.

Com o aumento de pesquisas que comprovam a presença de agentes contaminantes em organismos aquáticos, o estudo com biomarcadores em peixes tem sido considerado de grande importância para a avaliação de impactos antrópicos em ambientes costeiros.

A maioria das investigações já existentes com biomarcadores em peixes na Baía de São Marcos tem avaliado o nível bioquímico (como por exemplo, as enzimas de estresse oxidativo), o que exige equipamentos e reagentes caros. Porém, os biomarcadores histológicos (como as lesões branquiais) oferecem respostas rápidas e são de baixo custo, já que é possível analisá-los apenas com um microscópio óptico.

O uso de lesões branquiais como biomarcadores pode fornecer um diagnóstico seguro sobre a saúde dos peixes de um determinado local, mas, é necessário que a metodologia seja validada para as diferentes espécies em diferentes ambientes aquáticos (água doce, ambiente estuarino ou ambiente marinho). Desse modo, uma justificativa para a realização da presente pesquisa é a necessidade de se testar a metodologia de uso de lesões branquiais como biomarcadores nas populações de *Sciades herzbergii* e *Bagre*

bagre da Baía de São Marcos, Maranhão. Para isso, será necessário comparar organismos capturados em uma área considerada potencialmente contaminada e indivíduos provenientes de uma região livre de contaminação. No primeiro caso, na presente proposta de pesquisa considera-se a região portuária de São Luís como sendo adequada a esse tipo de análise (potencialmente contaminada) e no segundo caso, a Ilha dos Caranguejos apresenta-se como um local de referência.

Em sentido mais amplo, o desenvolvimento dessa pesquisa se justifica pela necessidade de diagnosticar a saúde dos peixes de importância econômica e que são consumidos localmente, obtendo-se respostas de advertência a riscos e/ou perturbações ambientais e, conseqüentemente, contribuindo com informações científicas para o monitoramento da Baía de São Marcos, Maranhão. A utilização de marcadores histológicos em brânquias dos peixes nativos da Baía de São Marcos já vem sendo abordada em alguns estudos (CARVALHO-NETA et al., 2012) e sua continuidade proporcionará um melhor entendimento sobre as respostas relacionadas à exposição dos peixes ao longo de uma série temporal maior e contribuirá com informações que subsidiarão ações de monitoramento da saúde e qualidade do pescado consumido regionalmente.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Comparar biomarcadores histológicos em populações naturais de *Sciades herzbergii* e *Bagre bagre* capturados pela pesca artesanal em dois locais diferenciados da Baía de São Marcos, Maranhão.

2.2 Objetivos específicos

- Quantificar lesões branquiais nos peixes e comparar a saúde das populações de *Sciades herzbergii* e *Bagre bagre* da área influenciada pelo complexo portuário de São Luís, Maranhão com a sanidade dos peixes da Ilha dos Caranguejos;
- Identificar a melhor espécie (*Sciades herzbergii* ou *Bagre bagre*) para testes com biomarcadores histológicos na Baía de São Marcos, Maranhão.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3. 1 Monitoramento Ambiental

Diante do crescimento constante das demandas urbana, agrícola e industrial, é possível perceber uma utilização descontrolada dos ambientes aquáticos, o que tem provocado a aceleração de processos de degradação dos rios, lagos e mares, especialmente da qualidade ambiental desses ecossistemas (CORGOSINHO et al., 2004; CALLISTO et al., 2001). Dessa forma, observa-se a crescente necessidade de se avaliar e monitorar as alterações ambientais e seus efeitos sobre os recursos hídricos, principalmente no que se refere ao desenvolvimento de metodologias usadas como instrumentos que medem a sanidade de um ecossistema aquático. Na sua acepção geral e originária, *monitoring* (atividade de olhar, observar, controlar qualquer coisa com um fim definido) era entendida como medida continuada de uma variável no tempo, através de uma atividade repetitiva e regular (PIVETTA et al., 2001).

O monitoramento Ambiental consiste na realização de medições e/ou observações específicas, dirigidas a alguns poucos indicadores e parâmetros, com a finalidade de verificar se determinados impactos ambientais estão ocorrendo, podendo ser dimensionada sua magnitude e avaliada a eficiência de eventuais medidas preventivas adotadas (BITAR; ORTEGA, 1998).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente - MMA (2009) entende-se por monitoramento ambiental o conhecimento e acompanhamento sistemático da situação dos recursos ambientais do meio físico e biótico, visando a recuperação, melhoria ou manutenção da qualidade ambiental. A qualidade ambiental está relacionada às variáveis ambientais, que se alteram, seja em função das ações antrópicas, seja em função de transformações naturais (Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2009).

Passando à definição de *biological monitoring*, alguns conceitos foram perdidos, tais como aqueles de necessidade da repetitividade e da regularidade das medidas. Isso se pode verificar analisando o que resta, talvez ainda hoje, da definição mais completa do monitoramento biológico, formulada dentro do acordo UNEP (*United Nations Environmental Programme*), WHO (*World Health Organization*) e EEC (*European Economic Community*), de 1984. Nessa formulação, o monitoramento biológico é definido como a medição e quantificação de substâncias químicas, ou de seus metabólitos, em tecidos, fluidos, secreções, excreções, ar expirado ou em quaisquer combinações, conduzidas para avaliar exposições e riscos à saúde, comparadas a uma referência apropriada (BERLIN et al., 1984).

Na área ambiental, o monitoramento foi sempre entendido como atividade preventiva, desenvolvida para evidenciar ou medir um risco. Estudos de monitoramento ambiental têm fornecido subsídios para uma análise mais detalhada sobre a situação desses ambientes (RODRIGUES et al., 2008). O monitoramento desses ambientes aquáticos (mares, rios e estuários) é geralmente realizado através da medição de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos de seus cursos d'água. Entretanto, mesmo sendo métodos de avaliação importantes para o estabelecimento de indicadores de potabilidade ou qualidade da água para os diversos usos humanos (RODRIGUES et al., 2008). Segundo Karr; Chu (1999), quando analisados isoladamente, estes parâmetros podem subestimar a real magnitude dos danos que estão sendo causados nesses ambientes.

O monitoramento de ambientes costeiros, realizados pelos grandes centros de pesquisa dos EUA e Europa, têm revelado resultados satisfatórios com a utilização de respostas biológicas em organismos para a avaliação de impactos ecológicos nesses ambientes (NIETO et al., 2010; AGUNWAMBA; ONUOHA; OKOYE, 2011; BRÁZOVÁ et al., 2011). Esses dados apontam avanços positivos em relação à aplicabilidade de estudos relacionados com a ecotoxicologia aquática (BRECKENRIDGE et al., 2002).

A utilização de biomarcadores vem se tornando uma importante ferramenta de avaliação dos efeitos tóxicos de substâncias poluentes em ecossistemas aquáticos, e que por meio do desenvolvimento e a aplicação de técnicas de exposição ou efeito em três níveis de complexidade (individual, celular e molecular), torna-se possível à elucidação da relação causa-efeito na avaliação de risco à qualidade desses ambientes (JESUS et al., 2008). Percebe-se assim, que o uso dessas técnicas de avaliação da saúde ambiental, pode trazer resultados satisfatórios no monitoramento das regiões portuárias.

3.2 Monitoramento ambiental em regiões portuárias

Nos complexos portuários são muitos os agentes potencialmente contaminantes aos organismos aquáticos (SCHAEFFER-NOVELLI, 2003). Alguns deles causam alterações graves nas comunidades aquáticas, mas são poucos avaliados pelos órgãos responsáveis pela gestão ambiental, a exemplo do que ocorre com os organoestanhos,

que são compostos organometálicos que têm sido amplamente utilizados como biocida em tintas de embarcações (VALDEZ-DOMINGOS, 2006; CARVALHO NETA, 2010).

Estudos com biomarcadores de contaminação aquática em áreas costeiras brasileiras por Joyeux et al. (2004), Sousa et al. (2013), Carvalho-Neta et al. (2012), Lemos et al. (2005), Martins et al. (2005), Medeiros et al. (2005), Silva et al. (2005), Pereira e Kuch (2005), Amado et al. (2006), Camargo e Martinez et al. (2006), Umbuzeiro et al. (2006), Valdez Domingos (2006), Zanette et al. (2006), indicam uma eficácia em sua utilização em programas de monitoramento ambiental.

A Baía de São Marcos é uma região estuarina produtiva localizada dentro do Golfão Maranhense a sudoeste de São Luís (MÍLEN, 2006). Em termos de importância econômica, a Baía de São Marcos é classificada como uma das mais importantes do litoral brasileiro, devido à instalação do complexo portuário do Estado do Maranhão (1960), onde atuam cerca de 30 empresas dentre elas a Companhia Vale do Rio Doce (VALE), SUZANO, ALUMAR/ALCOA e Petrobrás, responsáveis pela movimentação de cargas para o Brasil e para o mundo (ANTAQ, 2014).

O Complexo Portuário e Industrial de São Luís tem como principais portos comerciais Itaquí e Ponta da Madeira, que se destacam no cenário nacional como importantes terminais graneleiros. Esses portos são responsáveis por mais de 50% da movimentação de cargas portuárias do norte e nordeste do País (ICMBIO, 2005). A estes principais portos somam-se outras instalações portuárias vinculadas à atividade pesqueira, ao transporte de veículos e passageiros e à Marinha brasileira, além do terminal privativo da empresa Alumínio do Maranhão S.A. (EMAP, 2015). Este complexo portuário tem as seguintes unidades, com suas respectivas características e movimentação:

*Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (Pertencente à VALE) - é um terminal especializado em exportação de granéis que movimenta principalmente minérios de ferro e manganês, cargas próprias da empresa oriundas da Província Mineral de Carajás, além de prestar serviços de embarque a terceiros;

*Terminal Portuário da ALUMAR – é um terminal utilizado apenas para manuseio de cargas próprias e possui um berço com 9m de profundidade e equipado com um descarregador/carregador de navios; são descarregados insumos (carvão, coque, bauxita e soda) para a produção de alumínio que são depois embarcados;

*Porto de Itaqui - é um terminal utilizado para atender às cargas gerais e de derivados de petróleo, celulose, administrado pela Companhia de Docas do Maranhão (CODOMAR); o porto tem cais de 1.196m com instalações de atracação e acostagem compreendido por seis berços de cais acostável (100, 101, 102, 103, 104 e 105), um píer petroleiro (106) e encontra-se em construção um novo píer petroleiro (108), capaz de receber navios de até 250.000t, que será destinado à movimentação de derivados (ANTAQ, 2014);

*Terminal de Pesca Industrial de Porto Grande - atendendo à demanda do setor pesqueiro, o governo do Estado construiu um terminal pesqueiro todo aparelhado, inclusive, com uma fábrica de gelo; devido ao mau gerenciamento, o terminal foi desativado;

*Terminal de Ferry-Boat da Ponta da Espera - é destinado ao atendimento do fluxo de passageiros e veículos entre a Ilha de São Luís e o continente.

O complexo portuário em São Luís torna a cidade atrativa para indústrias que utilizam o transporte marítimo, porém, os navios graneleiros que atracam nesses portos, transportam diversos produtos, tais como minério de ferro, carvão, soda cáustica, bauxita e outros (CARVALHO-NETA et al., 2012). Dessa maneira, essa atividade portuária na Baía de São Marcos pode causar grandes impactos ao ambiente (caso ocorra algum acidente), e se o pescado é capturado próximo aos locais contaminados, traz consigo risco à saúde pública, fazendo-se necessário o monitoramento dos efeitos dos xenobióticos nos organismos aquáticos desses ecossistemas.

Os xenobióticos são definidos como substâncias químicas estranhas ao sistema biológico (SILVA, 2004). Muitos dos xenobióticos lançados nos sistemas aquáticos oriundos de atividades industriais, domésticas e agrícolas podem ser tóxicos e acabam alcançando e comprometendo a saúde da biota aquática, isso porque os ecossistemas aquáticos constituem o destino final de diversos tipos de contaminantes, sejam eles lançados de forma direta ou indiretamente (SILVA, 2005).

Segundo Ferraro (2009), a simples presença de um xenobiótico em um ambiente aquático não pode por si só indicar um efeito deletério a este ambiente, sendo necessários estudos que permitam identificar os efeitos que os poluentes estão causando aos organismos vivos desses ecossistemas. Logo, o uso de ferramentas biológicas, como os biomarcadores, pode auxiliar na avaliação dos estressores e seus efeitos sobre os

organismos presentes nesses locais contaminados. Segundo Valdez Domingos (2006), faz-se necessário uma padronização nessas metodologias e de biomarcadores que possam contribuir para a avaliação e diagnósticos dos impactos a que estão sujeitas estas regiões específicas do Brasil.

3.3 Bioindicadores para monitoramento de áreas portuárias

Organismos considerados bioindicadores refletem a médio ou em longo prazo os impactos em um determinado ecossistema através de suas funções vitais normais e/ou da sua composição orgânica (COLOMBI, 2009). Para a escolha de uma espécie bioindicadora, deve-se levar em conta os seguintes critérios: (a) especificidade do comportamento a um determinado fator; (b) sensibilidade ao agente estressante; (c) facilidade de amostragem e abundância ecológica; (d) ser bentônico e de baixa motilidade (VAN DER OSST STRAALLEN 1988; WINSTON, 1991).

Entre os bioindicadores comumente utilizados em programas de biomonitoramento pode-se citar os macroinvertebrados e os peixes (COLOMBI, 2009). Os macroinvertebrados bentônicos são animais que vivem associados ao fundo de rios, lagos, lagoas, reservatórios em pelo menos uma fase de seu ciclo vital. Este grupo é composto por vermes, crustáceos, moluscos e insetos. Eles constituem uma importante fonte alimentar para os peixes, são valiosos indicadores da degradação ambiental, além de influenciarem na ciclagem de nutrientes, na produtividade primária e na decomposição. Por apresentarem vantagens sobre a avaliação físico-química, tais como, serem relativamente sedentários e estarem localizados nos sedimentos e, também por serem capazes de registrar um longo tempo de impactos e testemunhar os efeitos de diversos poluentes, estes animais tem sido amplamente utilizado como bioindicadores de qualidade de água no monitoramento de reservatórios, trechos de importantes bacias hidrográficas sob diferentes níveis de impacto antrópico e na saúde de ecossistemas (EMBRAPA, 2015).

Nos peixes os efeitos dos contaminantes podem se manifestar em vários níveis de organização biológica, incluindo disfunções fisiológicas, alterações estruturais em órgãos e tecidos e modificações comportamentais que levam ao prejuízo do crescimento e da reprodução (ADAMS, 1990). Além disso, outros organismos bioindicadores como moluscos e crustáceos podem bioacumular uma série de metais pesados, e sofrer uma

série de lesões que refletem a saúde desses organismos (WHO, 1991). Tais “respostas biológicas” nos peixes, também chamadas de biomarcadores, podem ser utilizadas para identificar sinais primários de contaminação dos ambientes aquáticos e tem sido incluídos em vários programas modernos de monitoramento ambiental no Brasil e no mundo por apresentarem melhores resultados, já que estão no topo da cadeia trófica (VALDEZ DOMINGOS, 2006; CARVALHO-NETA, 2010).

3.4 Biomarcadores para monitoramento ambiental

No monitoramento aquático, os peixes funcionam como bons indicadores de poluição. O grau de eficiência de cada biomarcador depende do organismo (tamanho, sexo e idade) e da posição deste na cadeia trófica; por isso, estudos de qualidade ambiental que utilizam os mais diversos tipos de biomarcadores refletem com melhor precisão os efeitos do possível contaminante no organismo (JESUS et al., 2008).

Os biomarcadores são considerados “sinais de alerta” devido a sua resposta rápida e válida sobre os efeitos biológicos nos organismos aquáticos (MARIGÓMEZ et al., 2006). Em uma definição mais ampla, os biomarcadores ou marcadores biológicos são definidos como mudanças celulares, bioquímicas, moleculares ou fisiológicas, que são medidas em células, fluidos corporais, tecidos ou órgãos dentro de um organismo e que são indicativos da exposição e/ou doses de substâncias xenobióticas que levam a efeitos biológicos (HULKA et al., 1990; LAN; GRAY, 2001).

Através das primeiras discussões científicas mundiais sobre prevenção de impactos ambientais, em 1992, a US EPA (A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Environmental Protection Agency, EPA ou às vezes, USEPA em inglês), lançou uma nova abordagem, intitulada “Avaliação de risco”. Esta abordagem incorpora informações derivadas cientificamente, com preocupações sociais e econômicas, para projetar as consequências da ação de estressores de origem antrópica sobre o ambiente e, com base nesse modelo projetado, poderem definir ações para evitá-las.

A exposição constante da biota aquática a substâncias lançadas no meio ambiente, como o mercúrio e suas espécies químicas, é capaz de interagir com o organismo vivo causando múltiplas alterações que podem gerar graves consequências em populações, comunidades ou ecossistemas, dependendo do grau de contaminação e

do tempo de exposição (JESUS, 2008). De acordo com o grau e o histórico de contaminação, existem vários tipos de biomarcadores que podem ser utilizados para monitorar os ambientes aquáticos.

Segundo Jesus; Carvalho (2008) duas características são marcantes na aplicabilidade de biomarcadores em programas de contaminação ambiental: 1) permitem a identificação das interações que ocorrem entre os contaminantes e os organismos; 2) e possibilitam a mensuração de efeitos sub-letais. Essa última ação é norteadora na interpretação de resultados para a avaliação de riscos em ecossistemas aquáticos.

A utilização de biomarcadores em áreas de risco pode indicar o efeito dos poluentes a partir de um determinado nível de exposição e conseqüentemente possibilita a realização de um biomonitoramento complementar e mais usual do que a realização de um estudo químico envolvendo a determinação e a predição dos níveis de contaminantes nos corpos aquáticos (AZEVEDO; CHASIN, 2003). Para tanto, a confiabilidade dos resultados está associada à escolha correta do tipo de biomarcador em relação à melhor resposta dos organismos selecionados nos ambientes em que se pretende realizar um estudo de monitoramento ambiental.

Nesse contexto, o maior desafio do pesquisador na área da ecotoxicologia aquática é perceber qual o biomarcador apropriado para o melhor diagnóstico do ecossistema que se pretende investigar. Para tanto se deve levar em consideração o contaminante a ser estudado e o melhor modelo biológico para a avaliação de impacto ambiental (JESUS; CARVALHO, 2008).

3.5 Tipos de biomarcadores

Para Van der Oost; Beyer; Vermeulen (2003) os biomarcadores são categorizados de acordo com indicadores e/ou marcadores específicos presentes nos indivíduos, tais como: enzimas de biotransformação e stresse oxidativo, proteínas reguladoras, parâmetros hematológicos, imunológicos, reprodutivos, genotóxicos, neuromusculares, fisiológicos e em nível histológico (morfológico). Outra classificação dentro da ecotoxicologia aponta três tipos de biomarcadores: exposição, efeito e suscetibilidade (WHO, 1993).

Os biomarcadores de exposição são alterações biológicas mensuráveis que evidenciam a exposição dos organismos a um poluente (AMORIM, 2003). Um exemplo de biomarcador de exposição são os parâmetros bioquímicos que tem sido testado em peixes com relação a suas respostas a substâncias tóxicas (LECH; VODICNIK, 1985). Esses biomarcadores são muito sensíveis e específicos. Uma das grandes vantagens do uso desses biomarcadores é o baixo custo, que chega a ser 100 a 200 vezes mais barato em relação ao de análise química (SCHLENK, 1999). São considerados como substâncias de origem exógena, metabólito ou produto da interação entre o agente xenobiótico e o alvo molecular ou celular mensurados internamente nos organismos (WHO, 1993). Entre os marcadores biológicos mais pesquisados nos peixes, destacam-se: *lesões branquiais e hepáticas* (CARVALHO-NETA, 2010; SOUSA; CARVALHO-NETA, 2012) as enzimas presentes em tecidos hepáticos, envolvendo as enzimas de biotransformação de fase I e II, cofatores e antioxidantes (LECH; VODICNIK, 1985), como por exemplo, a indução do citocromo P-4501 (CYPA) monoxidase, sob exposição de hidrocarbonetos poliaromáticos (BUCHELI; FENT, 1995).

Segundo Winzer et al. (2001), os biomarcadores de efeitos, em geral, não são específicos em relação aos estressores e não fornecem informações sobre a sua natureza, mas são característicos da ocorrência de um estresse que poderá ser reversível tão logo o estressor cesse a atuação. São caracterizados pela indução de mecanismo de defesa celular, que se iniciam sempre como uma resposta adaptativa em nível molecular/bioquímico. Podem ser utilizados para documentar as alterações pré-clínicas ou efeitos adversos à saúde decorrentes da exposição e absorção da substância química. Dessa forma, a relação dose-resposta é relacionada a exposição e efeito dos contaminantes em organismos (AMORIM, 2003b). Entretanto, se esse mecanismo falha ou se sua capacidade de resposta é ultrapassada, poderão ser desencadeadas alterações fisiológicas ou histológicas, podendo ser irreversíveis, dependendo da capacidade do sistema ou órgão em responder ao estressor. Assim, o organismo pode ter afetada sua capacidade de reprodução ou crescimento.

De acordo com Barret et al. (1997), os biomarcadores de suscetibilidade podem ser definidos como indicadores de processos que causam variações de respostas ao longo do tempo e entre exposição e efeito, determinando condições como: indivíduo sadio, compensação do metabolismo, perturbação das funções, alterações morfológicas e morte. Os organismos, mesmo da mesma espécie, não respondem igualmente a

exposição a xenobióticos. Sexo, jejum, estresse pelo confinamento, tamanho e estágio de desenvolvimento são parâmetros de variação nas respostas a estressores, bem como o polimorfismo genético de uma população (JESUS et al., 2008). Estes biomarcadores correspondem aos chamados biomarcadores de efeito latente (FOSSI et al., 1993), mostrando assim, de acordo com Nascimento et al. (2006), que alguns organismos podem, em algum momento, apresentar limitações em suas habilidades de adaptação ou de sobrevivência, o que pode vir a ser identificado através da medida das respostas fisiológicas que quando analisadas em conjunto, mostram a diminuição da energia utilizada para o indivíduo crescer.

3.6 Lesões branquiais como biomarcadores em peixes

As alterações histológicas em tecidos de peixes são consideradas como Biomarcadores de efeito a exposição de estressores do meio ambiente, sendo reconhecidas cada vez mais como uma ferramenta valiosa para a avaliação do campo de poluentes ambientais (TEH; ADAMS; HINTON, 1997). As lesões em tecidos de brânquias são frequentemente estudadas em peixes coletados em ambientes naturais poluídos para avaliar a degradação do ambiente aquático ou validadas em peixes expostos a substâncias em testes de laboratório (CANTANHÊDE et al., 2014).

Várias pesquisas têm demonstrado as respostas das brânquias como marcadores eficientes e seguros para constatar ambientes impactados devido às atividades antrópicas. As alterações morfológicas nas brânquias de peixes como biomarcadores podem auxiliar na avaliação dos impactos causados por poluentes, especialmente, nos complexos portuários, visto que, nesses locais muitos são os agentes contaminantes aos organismos aquáticos (MACHADO, 1999). Os peixes exibem enorme diversidade morfofisiológica e, em sua biologia ao longo da evolução, desenvolveram muitas adaptações para que obtivessem sucesso nos ecossistemas aquáticos (MACHADO, 1999). Nesse contexto, muitas estruturas dos peixes, a exemplo das brânquias, exercem papéis vitais, tais como, trocas gasosas e estão envolvidas nos processos de osmorregulação, equilíbrio ácido-básico, excreção de compostos nitrogenados e gustação (HUGHES, 1966; HUGHES, 1982).

Assim, como as brânquias possuem um tecido delicado, essa estrutura é passível de ser lesionada e, essas alterações das brânquias, podem ser utilizadas como indicadores da qualidade do ambiente em que esses peixes residem. Além disso, muitos

dos agentes que lesionam as brânquias (pesticidas orgânicos, ácidos, sais, despejos industriais e metais pesados), podem contribuir para alteração da atividade de ATPase-Na-K, e dessa forma, o fluxo normal de íons (MACHADO, 1999).

Uma quantidade crescente de pesquisas vem incorporando biomarcadores em nível histológico para avaliação de risco ecológico no Brasil e no mundo (COSTA et al., 2009). Nessa classificação, as lesões branquiais são utilizadas como biomarcadores sensíveis ao estresse ambiental em populações naturais de peixes (STENTIFORD et al., 2003) e o exame histopatológico tem sido reconhecido por vários investigadores como uma valiosa ferramenta para avaliações de impactos ambientais em populações de peixes (TEH; ADAMS; HINTON, 1997). Essas alterações morfológicas ocorrem porque a superfície branquial dos peixes mantém-se em permanente contato com o meio externo e a alta taxa de perfusão facilita a entrada dos poluentes nas lamelas (HEATH, 1987).

No Brasil, vários são os estudos com a utilização de biomarcadores histopatológicos em brânquias de peixes estuarinos (FERNANDEZ et al., 2011; MONTES; FERREIRA; SANTOS et al., 2010; RODRIGUES et al., 2010), onde o principal enfoque experimental é avaliação de áreas impactadas através do monitoramento ambiental com a utilização de espécies sentinelas que indiquem a qualidade dos ecossistemas. Nesse contexto, a histopatologia pode ser utilizada para estabelecer causas pontuais e secundárias de doenças leves ou severas em populações específicas de peixes (TEXEIRA, 2008). No entanto, uma das mais importantes dificuldades de estudos histopatológicos em peixes diz respeito à falta de especificidade das lesões e alterações no sentido de um contaminante ou classe de contaminantes, o que muito prejudica avaliações de causa-efeito, quando tóxicos múltiplos estão envolvidos (COSTA et al., 2009).

Para o Estado do Maranhão, estudos dessa abrangência têm sido realizados em uma espécie de bagre estuarino-residente (*Sciades herzbergii*), na qual a avaliação tem se mostrado como uma importante ferramenta para a identificação de impactos antrópicos na assembleia de peixes da Baía de São Marcos, Maranhão (CARVALHO-NETA, 2010; SOUSA; ALMEIDA; CARVALHO-NETA, 2013; CARVALHO NETA; TORRES; ABREU-SILVA, 2012; SANTOS et al., 2012).

3.7 *Sciades herzbergii* e *Bagre bagre* como modelos biológicos para avaliação de impactos na Baía de São Marcos

Os bagres pertencem à família Ariidae e ocorrem nas zonas litorâneas tropicais e subtropicais, em ambientes marinhos, estuarinos e de água doce, sendo geralmente abundantes em águas costeiras com fundo lodoso e pouco profunda (ARAÚJO et al., 1988). Procuram a embocadura dos rios e regiões lagunares na época da desova (FIGUEIREDO; MENEZES, 1978).

Os peixes das espécies *Sciades herzbergii* e *Bagre bagre* capturadas nos igarapés próximos ao Complexo Portuário de São Luís-MA são consumidos e vendidos com uma certa “insegurança” por parte das comunidades pesqueiras locais, já que os pescadores presenciam a poluição oriunda das atividades portuárias que chegam até os igarapés explorados pela pesca artesanal (CARVALHO-NETA; CASTRO, 2008). Dessa forma, a investigação dessas duas espécies ícticas faz-se necessária, pois são muito frequentes nas pescarias realizadas na região, uma vez que apresentam alta regularidade de ocorrência durante todo o ano na Baía de São Marcos, Maranhão.

3.7.1 Sciades herzbergii

A espécie *S. herzbergii* (Bloch, 1794), popularmente conhecida como bagre guribu (Fig. 1), é uma das poucas espécies que possui todo o seu ciclo de vida nos estuários maranhenses, sendo considerado como uma espécie “estuarino-residente” (CARVALHO NETA, 2010). Esse táxon pertence à família Ariidae, e, difere-se dos demais bagres por apresentarem maxila superior com um par de barbilhões, maxila inferior com um ou dois pares, narinas anteriores muito próximas das posteriores e nadadeiras peitoral e dorsal com um espinho poderoso anteriormente de margens serradas (FIGUEIREDO; MENEZES, 1978).



Figura 1- Exemplar de *Sciades herzbergii* (Bloch, 1794), capturados na Baía de São Marcos, Maranhão.

Os igarapés da Ilha dos Caranguejos constituem os principais locais utilizados por essa espécie tanto para alimentação, como crescimento e reprodução (CARVALHO-NETA; ABREU-SILVA, 2010; CARVALHO-NETA; NUNES; PIORSKI, 2011).

Estudos pretéritos realizados por Carvalho-Neta (2010); Carvalho-Neta; Abreu-Silva; Torres (2012) com a utilização de lesões branquiais e enzimas de estresse oxidativo apontaram a espécie *Sciades herzbergii* como modelo seguro para a avaliação de impactos de áreas protegidas e impactadas da Baía de São Marcos, Maranhão. Neste sentido, a padronização de protocolos metodológicos com a utilização de marcadores biológicos (biomarcadores) em bagres estuarinos da costa maranhense poderá tornar-se uma ferramenta promissora para avaliação de impactos em diferentes ambientes na Baía de São Marcos, Maranhão.

3.7.2 *Bagre bagre*

A espécie *Bagre bagre* (Linnaeus, 1766) é um táxon marinho que ocorre comumente próximo à desembocadura de rios (FIGUEIREDO; MENEZES, 1978). Os exemplares (fig. 2) desse táxon apresentam um par de barbilhões (em vez de dois) e os

barbilhões maxilares são achatados, em forma de fita, sendo que o primeiro raio da nadadeira dorsal forma um longo e contínuo filamento conhecido popularmente como “bandeira” (CERVIGÓN, 1991).

Esse táxon é considerado uma espécie anádroma – comportamento de peixes marinhos que migram na época de reprodução (migrante-marinho) (ABSOLON; ANDREATA, 2009) e seu comportamento bioecológico (crescimento, alimentação, reprodução) é fortemente influenciado em alguns casos por mudanças na temperatura e salinidade (LARA-DOMINGUEZ; YANEZ-ARANCIBIA; LINHARES, 1981).



Figura 2 – Exemplar de *Bagre bagre* (Linnaeus, 1766) capturados na Baía de São Marcos, Maranhão.

Estudos indicam que o uso de biomarcadores nessas espécies de bagre, permite um diagnóstico eficaz sobre os efeitos dos poluentes que afetam os peixes de regiões portuárias (SOUSA et al, 2013). A padronização de biomarcadores sensíveis em espécies icticas em pontos distintos da Baía de São Marcos como subsídio ao monitoramento ambiental (CARVALHO-NETA, 2010; CARVALHO-NETA; ABREU-SILVA, 2010; CARVALHO-NETA; TORRES; ABREU-SILVA, 2012; SOUSA; ALMEIDA; CARVALHO-NETA, 2012) têm revelado um diagnóstico mais detalhado e seguro sobre a saúde das populações ícticas e dos ecossistemas estuarinos da costa maranhense. A geração dos dados é de grande importância para a atuação dos órgãos ambientais estaduais e federais no que diz respeito a políticas de manejo e monitoramento em áreas distintas da região investigada.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O Estado do Maranhão, situado na porção norte brasileira, apresenta um litoral bastante recortado por canais, estuários, bacias e ilhas com extensão aproximada de 640 km (MARANHÃO, 2011). Sua faixa litorânea possui características geoambientais diferenciadas que justificam sua divisão em Litoral Ocidental e Oriental, separadas pela Baía de São José, e a Baía de São Marcos, que forma em conjunto com a Ilha do Maranhão o Golfão Maranhense (SOUZA-FILHO, 2005).

A Baía de São Marcos (Fig.3) é um estuário ativo de aproximadamente 100 quilômetros de extensão (PALMA, 1977). Está localizada na costa ocidental do Maranhão onde o clima é quente e úmido com temperatura média de 26 °C. O litoral apresenta grandes variações de marés, cujas máximas atingem 7,1 m (para o mês de março e setembro) com variação média de 3,4 m (FURTADO, 2007).

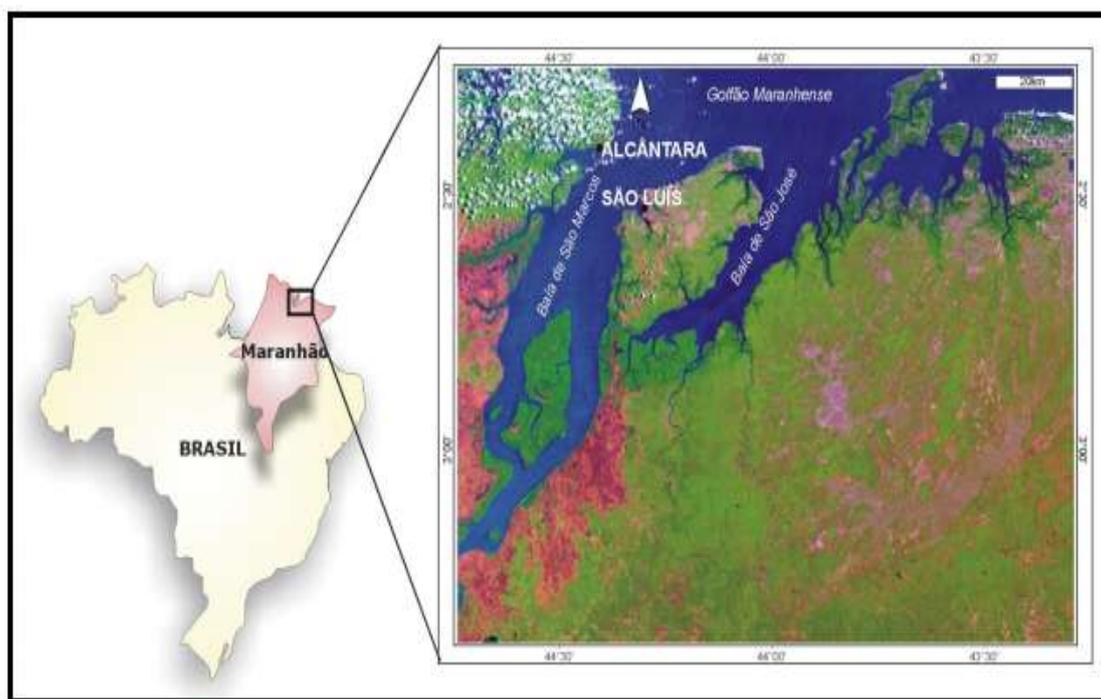


Figura 3 – Localização da Baía de São Marcos, Maranhão. FONTE: Adaptado pela autora a partir de Zoneamento Costeiro do Estado do Maranhão (2003).

4.2 Determinação das áreas amostrais na Baía de São Marcos e coleta dos peixes

Foram realizadas duas coletas anuais (período chuvoso e época de estiagem) nos anos de 2013, 2014 e 2015. Em cada ponto de coleta foram capturados 20 peixes, sendo 60 peixes em cada área dando um total de 120 peixes. O primeiro local A1 corresponde à área portuária ($02^{\circ}43'14''S$ e $44^{\circ}23'35''W$), considerada uma área potencialmente contaminada, em função de estudos pretéritos que apontam a presença de metais pesados e pesticidas organofosforados (CARVALHO-NETA, 2010). O segundo local A2 refere-se à Ilha dos Caranguejos ($02^{\circ}49'33,6''S$ e $44^{\circ}28'51,1''W$), distando 30 km do complexo portuário de São Luís (fig. 4). A Ilha é classificada como uma área de “médio estuário”, apresentando salinidade mínima no inverno de 5.000 ppm (5,0) e máxima no verão de 25.000 ppm (25,0); além disso, é um local onde se registram as maiores amplitudes de marés no Estado do Maranhão que atingem 7,5 metros (ZONEAMENTO COSTEIRO DO ESTADO DO MARANHÃO, 2003).

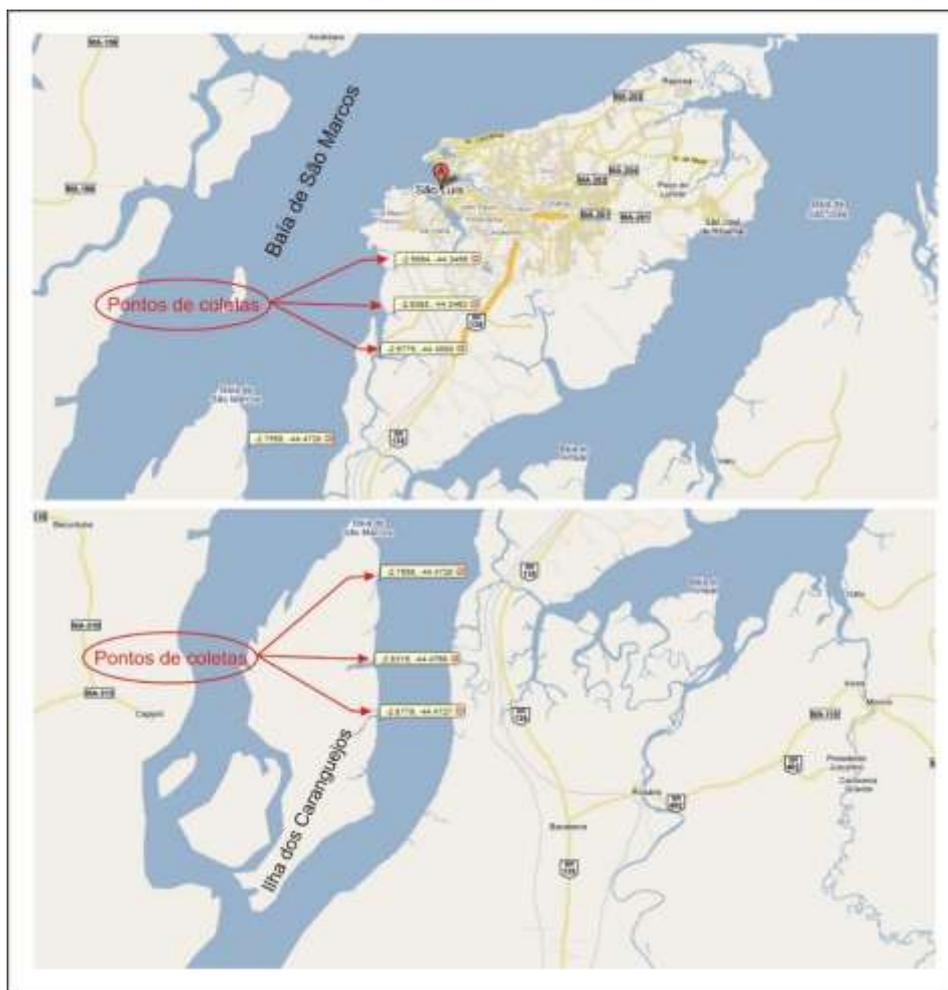


Figura 4 - Localização dos três pontos de coleta na região portuária e na Ilha dos Caranguejos, Baía de São Marcos, Maranhão.

Em associação com 22 municípios da Baixada Maranhense, a Ilha dos Caranguejos faz parte de uma área de Proteção Ambiental (APA), 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, 2014).

A Ilha dos Caranguejos faz parte do município de Cajapió, é inabitada e apresenta uma área de 345,08 km² num perímetro de 165,08 km² constituindo-se na maior faixa contínua de manguezal do Maranhão (CARVALHO-NETA; CASTRO, 2008). Diante dessas características ambientais e categoria de Unidade de Conservação de Uso Sustentável, a Ilha dos Caranguejos foi utilizada como uma área de “referência” (livre de contaminação).

Com relação às coletas dos peixes, os exemplares de *S. herzbergii* e *B. bagre* foram capturados aleatoriamente com armadilhas fixas de pesca conhecidas como tapagem. A rede de tapagem foi colocada de um lado a outro do igarapé e, durante a baixa-mar os táxons foram retirados. No momento de despesca, os animais coletados em cada local de amostragem foram acondicionados em sacos plásticos devidamente etiquetados, identificados e lacrados, colocados em caixas de isopor contendo gelo e transportados ao Laboratório de Biomarcadores e Organismos Aquáticos (LABOAq). A coleta durou uma média de 5 horas. Os exemplares foram capturados nas duas áreas (A1 e A2) nos mesmos dias e condições anteriormente descritas.

4.3 Obtenção dos dados biométricos

Os seguintes dados biométricos dos peixes foram registrados: comprimento total (CT), comprimento padrão (CP) e comprimento furcal (CF) em cm, peso total (PT) e o peso das gônadas (PG) em g. Depois de pesados e medidos, os exemplares de peixes foram abertos para observação e classificação macroscópica das gônadas, considerando-se a seguinte escala de estágios de desenvolvimento gonadal dada por Vazoller (1996) e modificada por Carvalho-Neta; Castro (2008): EG1 (imaturo), EG2 (em maturação ou repouso), EG3 (maduro) e EG4 (esgotado). Também foi calculado o índice gonadossomático (IGS), conforme Vazoller (1996): $GSI = Wg.100/Wt$.

4.4 Análises histopatológicas

As brânquias foram descalcificadas e fixadas em formol a 10%. Posteriormente foram mantidas em álcool 70% até o processamento histológico usual. Para tanto, os três primeiros arcos branquiais direito foram desidratados em séries crescentes de álcoois, diafanizados em xilol, impregnados e incluídos em parafina. Cortes transversais, de aproximadamente 5 µm de espessura, foram corados com Hematoxilina e Eosina (HE). Analisaram-se quatro cortes para cada órgão de cada animal. A leitura das lâminas foi realizada em microscópio óptico e as lesões encontradas foram fotomicrografadas em fotomicroscópio AXIOSKOP – ZEIS.

As alterações histológicas observadas nas brânquias foram ordenadas em três padrões de reações e segundo o fator de importância (w): 1 patologia mínima; 2 patologias moderada; 3 patologias acentuada, adaptada a partir de Bernet et al. (1999).

4.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade e as médias dos resultados obtidos foram comparadas entre si através de teste t de Student. Para a localização das diferenças entre as médias obtidas para os dois locais de coleta e os dados biométricos foi utilizado o teste de comparações múltiplas ($P < 0,05$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Biometria em *Sciades herzbergii*

Os dados biométricos e a análise estatística de exemplares de *S. herzbergii* analisados sazonalmente (época chuvosa e de estiagem) no período de 2013 a 2015 estão indicados nas tabelas 1, 2, 3 e 4.

Tabela 1: Dados biométricos e índice gonadossomático de *S. herzbergii* na época chuvosa capturados pela pesca artesanal na Baía de São Marcos, Maranhão, Brasil.

Locais de coleta	Sexo	C _t (cm)	C _f (cm)	P _t (g)	P _g (g)	IGS
A1 (região portuária)	Macho	26,07±7,12	23,86±7,16	203,37±112,9	0,90±0,91	0,36±0,27
	Fêmea	25,41±3,9	23,22±3,7	150,93±80,9	0,75±0,71	0,43±0,21
A2 (Ilha dos Caranguejos)	Macho	19,2± 6,47	17±6,31	198,7±98,9	1,56±0,55	0,81±0,31
	Fêmea	19± 3,49	16,9±3,47	250,1±120,15	1,92±1,08	0,76±0,17

Ct = Comprimento Total; Cf = Comprimento Furcal; Pt = Peso Total; Pg = Peso das gônadas; IGS = Índice Gonadossomáticos.

Tabela 2: Análise estatística dos dados biométricos de *S. herzbergii* na época chuvosa capturados pela pesca artesanal na região portuária e Ilha dos Caranguejos, na Baía de São Marcos, Maranhão, Brasil.

Sexo	C _t (cm)	C _f (cm)	P _t (g)	P _g (g)
Macho	0,0595	0,0898	0,4009	0,0117*
Fêmea	0,0824	0,0705	0,0092*	0,0143*

Ct = Comprimento Total; Cf = Comprimento Furcal; Pt = Peso Total; Pg = Peso das gônadas

* indica uma diferença estatística $p < 0,05$.

Podemos observar que os dados listados na tabela 1 para os peixes coletados na região portuária, como comprimento total (Ct) e comprimento furcal (Cf), apresentaram-se maiores do que aqueles dos peixes coletados na região da ilha dos caranguejos, entretanto percebemos que o peso total (Pt) e os estágios de maturação gonadal (IGS) foram maiores para as fêmeas na Ilha dos Caranguejos. Sendo assim, apesar dos comprimentos serem maiores para a região portuária, o peso total (Pt) foi maior para os indivíduos da ilha, e o estágio de maturação gonadal também, apontando,

que na Ilha dos Caranguejos, encontramos todos os estágios, diferentemente do que ocorre na área impactada.

Tabela 3: Dados biométricos e índice gonadosomático de *S. herzbergii* na época de estiagem capturados pela pesca artesanal na Baía de São Marcos, Maranhão, Brasil.

Locais de coleta	Sexo	C _t (cm)	C _f (cm)	P _t (g)	P _g (g)	IGS
A1 (região portuária)	Macho	22,8±5,70	20,7±5,71	145,2±70,7	0,42±0,39	0,3±31,66
	Fêmea	24,76±4,74	22,43±4,53	164,4±87,79	0,92±0,63	0,25±0,11
A2 (Ilha dos Caranguejo)	Macho	18,1± 3,35	14,3±3,23	182,4±52,22	1,09±0,23	0,66 ±0,19
	Fêmea	22,2± 7,46	20,2±7,38	312,5±172,47	2,52±1,65	0,79±0,26

Ct = Comprimento Total; Cf = Comprimento Furcal; Pt = Peso Total; Pg = Peso das gonodas; IGS = Índice Gonadossoáticos.

O resultado da análise estatística (tabela 4) de fêmea de *S. herzbergii* foi significativo para o peso total e das gônadas. Para os machos a análise estatística apenas para o peso das gônadas. Em relação ao comprimento total e furcal dos machos o teste t foi zero.

Tabela 4: Análise estatística dos dados biométricos de *S. herzbergii* na época estiagem capturados pela pesca artesanal na região portuária e Ilha dos Caranguejos, na Baía de São Marcos, Maranhão, Brasil.

Sexo	C _t (cm)	C _f (cm)	P _t (g)	P _g (g)
Macho	-	-	0,2227	0,0004*
Fêmea	0,1086	0,1211	0,0196*	0,0071*

Ct = Comprimento Total; Cf = Comprimento Furcal; Pt = Peso Total; Pg = Peso das gônadas

* indica uma diferença estatística $p < 0,05$.

Os resultados na tabela 2 mostram um comportamento diferente do relatado por Sousa et. al 2013, quanto aos comprimento total e furcal. Contudo, esses animais de igual modo apresentaram índices gonadossomáticos maiores para as áreas de referência. Apontando que mesmo com tamanhos furcal e total menores nas áreas de referência esses animais mostram melhor desenvolvimento reprodutivo, assim como os resultados relatados no trabalho de Sousa et al. (2013). Assim, sabe-se que certos contaminantes ambientais afetam o sistema reprodutivo dos peixes e podem comprometer o desenvolvimento de gametas ou sua viabilidade (KIME, 1998).

5.2 Histopatologia em *S. herzbergii*

Os peixes coletados na Ilha dos Caranguejos (área de referência) apresentaram poucas alterações nas brânquias quando comparados com os peixes capturados na região portuária. A figura 5 mostra o padrão de normalidade das lamelas primárias das brânquias de *Sciades herzbergii* coletados na área controle.

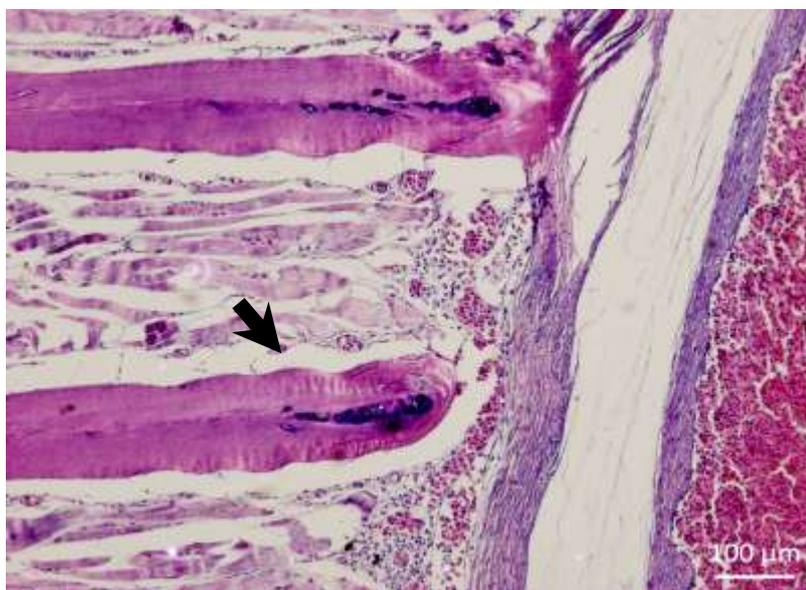


Figura 5 - Fotomicrografia do primeiro arco branquial direito de exemplares de *S. herzbergii* coletados na Ilha dos Caranguejos, Baía de São Marcos. Detalhe de filamentos branquiais mostrando duas lamelas primárias normais (seta). Barra = 100 μm .

De acordo com Baldisserotto (2009), as brânquias são divididas em quatro arcos branquiais de cada lado da faringe e estes, por sua vez, são formados por duas fileiras de filamentos branquiais. Os filamentos brânquias contém lamelas que são formadas por células pilares e cobertas por uma membrana basal e o epitélio, o qual é contínuo com o filamento e constituído por uma camada interna de células não diferenciadas e externas de células pavimentosas. Algumas dessas células, principalmente no que se refere aos peixes da região portuária, apresentaram modificações nessas estruturas.

No estudo de Poleksic; Mitrovic-Tutundzic (1994) segue uma classificação para as alterações estruturais em peixes de água doce, onde, no primeiro critério, as alterações foram classificadas, quanto a sua localização e tipo. No segundo critério, avaliou-se o grau de severidade das lesões (dividido em três estágios), em que o primeiro estágio representa alterações que facilmente são corrigidas; o segundo estágio são alterações que levam a um comprometimento das funções do tecido branquial, mas ainda possíveis de recuperação; já o terceiro estágio são alterações irreversíveis podendo levar a morte do indivíduo, como necrose e fibrose (POLEKSIC; MITROVIC-TUTUNDZIC,1994).

Muitas brânquias de *S. herzbergii* coletados na Baía de São Marcos apresentaram fibrose (fig. 6).

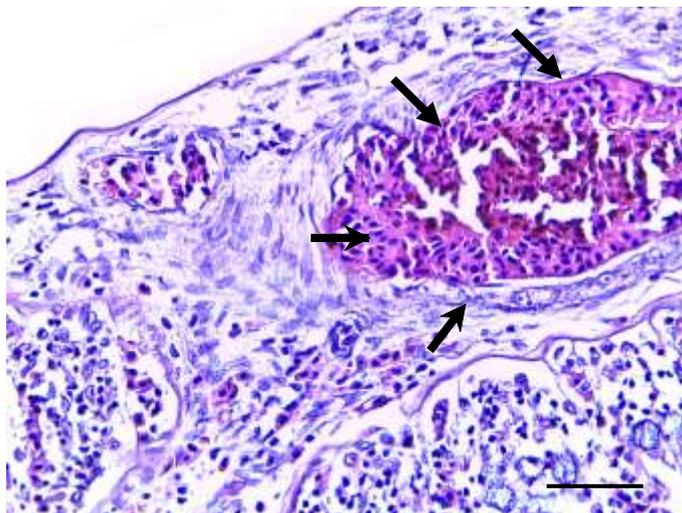


Figura 6 - Fotomicrografia do primeiro arco branquial direito de exemplares de *S. herzbergii* coletados na Baía de São Marcos. Detalhe de filamentos branquiais mostrando fibrose (setas). Barra = 240x

Apesar de se ter registrado algumas alterações histológicas nos peixes da área de referência (como por exemplo, o estreitamento lamelar), notou-se que tais alterações ocorreram com menor frequência quando comparados com os peixes da área potencialmente contaminada.

Na região portuária foram encontradas as seguintes alterações histológicas: deslocamento do epitélio, aneurisma, estreitamento lamelar, fusão lamelar, parasitos e células mucosas (figs 7, 8 e 9). A figura 7 mostra uma lamela primária com estreitamento lamelar. Esse tipo de alteração traz uma perda considerável nas trocas gasosas, uma vez que diminui a área de contato entre o epitélio e as lamelas primárias.

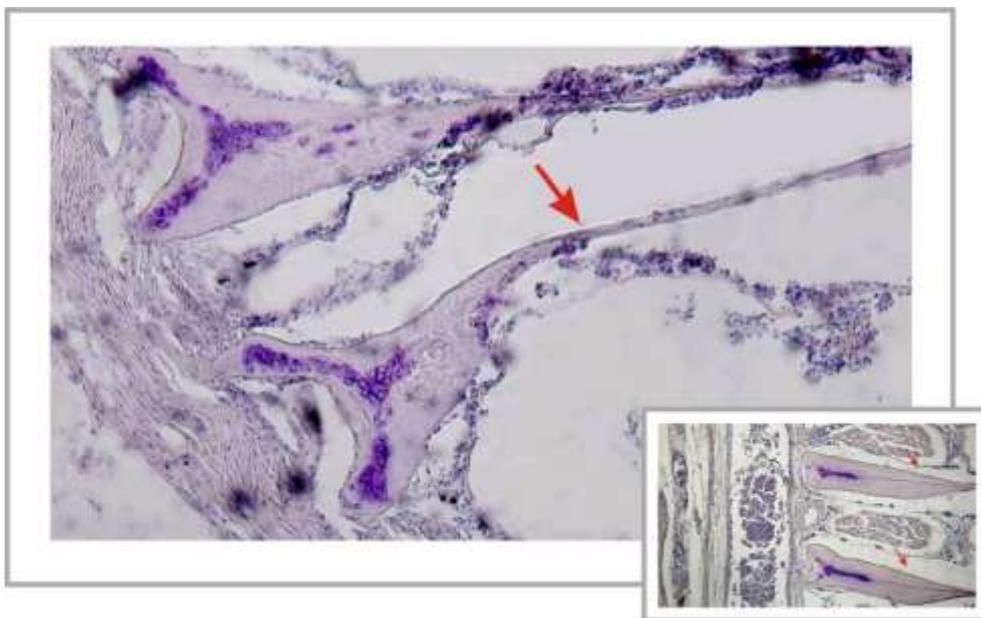


Figura 7 - Fotomicrografia do primeiro arco branquial direito de exemplares de *S. herzbergii* coletados na Baía de São Marcos. Detalhe de filamentos branquiais mostrando uma lamela primária com estreitamento lamelar (setas). Barra = 100 μ m.

Todas as alterações citadas em brânquias foram encontradas também em estudos realizados por Sousa et al. (2013) em duas espécies de Bagres estuarinos, Guarcia-Santos et al. (2007) com tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) quando expostas ao cádmio, por Santos et al. (2012) com a mesma espécie e com o híbrido tambacu (*Colossoma macropomum* fêmea e *Piaractus mesopotamicus* macho), e por Cantanhêde et al. (2014) com *Centropomus undecimalis*.

A figura 8 mostra uma lamela secundária com fusão lamelar. Esse tipo de lesão ocorre através de um mecanismo natural de defesa, que protege o contato direto dos contaminantes com o epitélio da lamela (SILVA et al., 2004). No entanto, essa alteração promove também a redução da superfície respiratória o que pode resultar na morte do animal (SILVA et al., 2004).

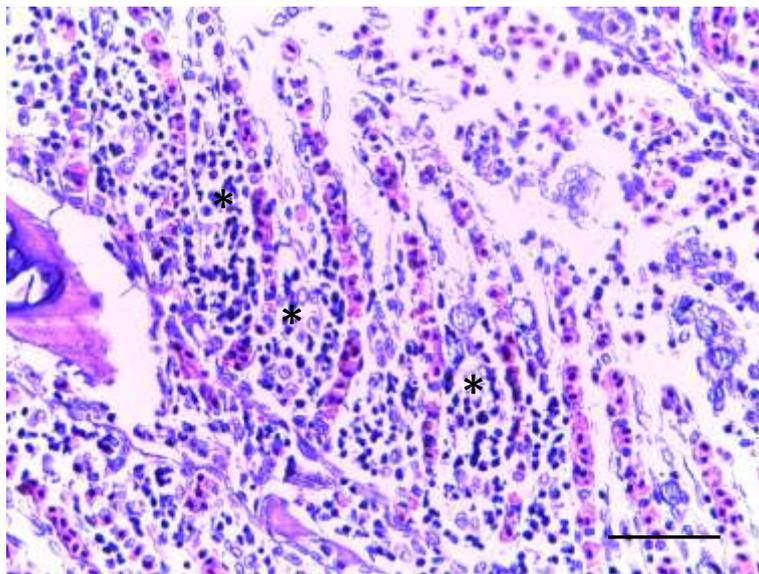


Figura 8 - Fotomicrografia do primeiro arco branquial direito de exemplares de *S. herzbergii* coletados na Baía de São Marcos. Detalhe de filamentos branquiais mostrando uma lamela secundária com fusão (asteriscos). Barra = 100 μ m.

Experimentos laboratoriais realizados por Domingos (2006) revelaram que certas substâncias, como o mercúrio e o chumbo, são capazes de induzir alterações nas brânquias de peixes, como exemplo a fusão das lamelas. A concentração dessas substâncias e de diversos metais é encontrada, principalmente, em locais em que há atividade industrial, processamento de metais e despejos industriais, que ficam instalados próximo aos ambientes aquáticos, afetando dessa forma a saúde desses organismos.

Nesse contexto, Nogueira et al. (2008) utilizaram as brânquias de *Pimelodus maculatus* como biomarcadores para avaliar a presença de poluentes em ambientes naturais através do cálculo das lesões histológicas nas brânquias. Além disso, uma grande variedade de lesões (alterações patológicas das células, tecidos ou órgãos) pode

indicar a exposição de organismos aos agentes tóxicos presentes nos ecossistemas naturais. Na grande maioria das vezes, as lesões estão associadas a um órgão específico o que resulta em um transporte tóxico preferencial, acumulação ou a ativação de substâncias dentro desse órgão (NEWMAN; MICHAEL; UNGER, 2002).

O deslocamento epitelial é o primeiro sinal de patologias em peixes, assim como a fusão lamelar, que podem levar a distúrbio na osmorregulação, mecanismo essencial à vida dos peixes (NOGUEIRA et al., 2008), observado neste estudo (fig. 9), também foi relatado por Nogueira (2011) e Domingos (2006) em peixes expostos a cobre e organofosforados. Dessa forma, tanto o deslocamento do epitélio quanto a fusão de lamelas ocasionam o aumento da distância entre as células epiteliais e os capilares sanguíneos, fazendo com que o peixe tenha prejuízo nas trocas gasosas (SANTOS, 2007).

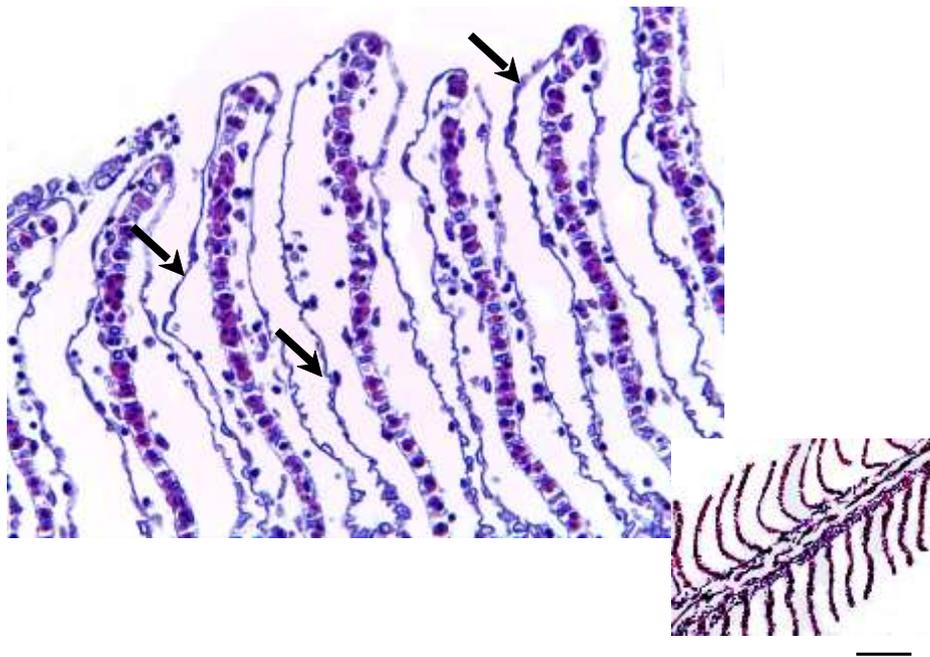


Figura 9 - Fotomicrografia do primeiro arco branquial direito de exemplares de *S. herzbergii* coletados na Baía de São Marcos. Detalhe de filamentos branquiais mostrando descolamento do epitélio da lamela secundária (setas). Barra = 50 μ m.

A figura 10 mostra o detalhe das lamelas branquiais de *S. herzbergii* com células mucosas.

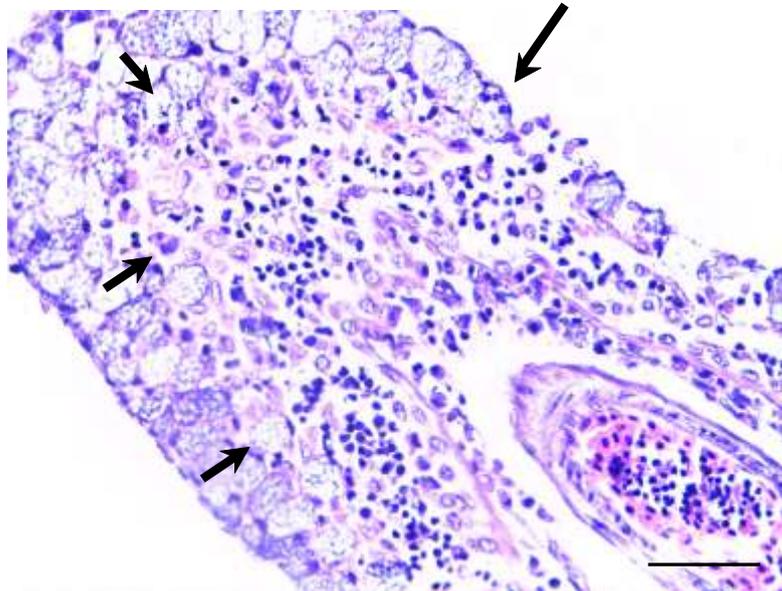


Figura 10 - Fotomicrografia do primeiro arco branquial direito de exemplares de *S. herzbergii* coletados na Baía de São Marcos. Detalhe das lamelas mostrando células mucosas (setas). Barra = 340x

Nos filamentos brânquias podem ser encontradas fibras nervosas, células mucosas, neuroepiteliais, cloreto, não diferenciadas e pavimentosas. As células mucosas produzem um muco que parece proteger contra danos físicos, substâncias tóxicas e patógenos na água. Em peixes estressados, a secreção de muco aumenta (BALDISSEROTTO, 2009). Na região portuária, muitos peixes apresentaram células mucosas, provavelmente pelas condições tóxicas da água e da presença de patógenos.

Nos peixes da região portuária foi possível observar também, a presença de parasitos (fig.11) causando importantes efeitos nas brânquias, como o comprometimento de sua eficiência respiratória, que pode ser reduzida ou comprometida pela presença desses organismos. Estudos indicam que em peixes com parasitos nas brânquias é possível ocorrer também uma interrupção temporária ou definitiva da circulação branquial, trazendo como consequência uma possível necrose ou desintegração do tecido (KABATA, 1970).

Segundo Eiras (1994), as perdas causadas por parasitos nos peixes, são prejudiciais, tanto pela sua presença, causando pressão nos tecidos do hospedeiro, como por sua fixação, criando efeitos significativos através da sua ação mecânica. Além disso, a alimentação à custa do hospedeiro resulta em perda de sangue, efeitos esses que podem levá-lo à perda de peso, diminuição da taxa de crescimento e eventualmente, morte (ROBERTS et al.,2004).

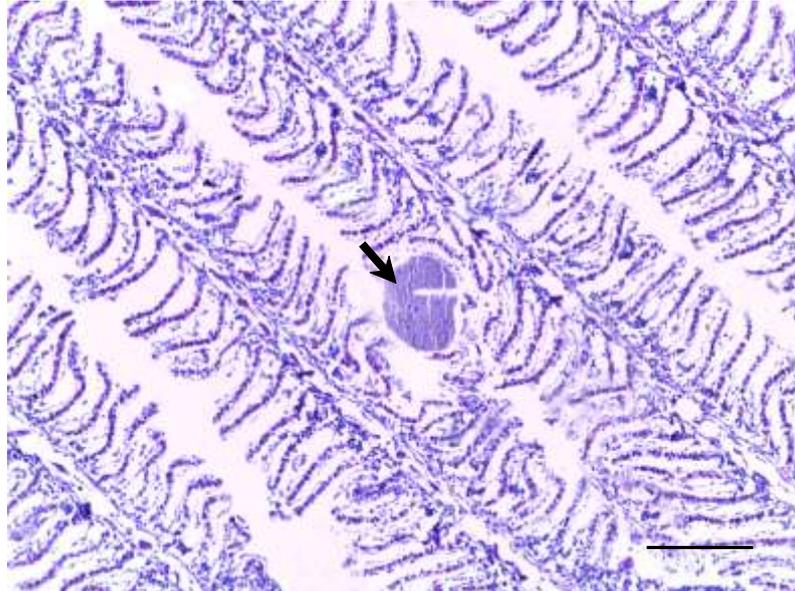


Figura 11 - Fotomicrografia do primeiro arco branquial direito de exemplares de *S. herzbergii* coletados na Baía de São Marcos. Detalhe das lamelas secundárias mostrando um parasito (seta). Barra =120x

Estudos de biomonitoramento realizados por Montes et al. (2010) na Baía do Guajará, no estado do Pará, mostraram que as alterações histológicas encontradas nas brânquias de *Brachyplatystoma rousseauxii* foi considerado um excelente biomarcador e que essa espécie nativa pode ser utilizada como bioindicadora de ambientes impactados ou protegidos daquela região. Esses dados reforçam a importância do uso de diferentes metodologias de biomonitoramento dos ecossistemas estuarinos na costa Norte do Brasil (a exemplo da Baía de São Marcos), enfatizando a utilização de lesões branquiais em espécies nativas como biomarcadores de contaminação aquática capazes de auxiliar na avaliação mais precisa da qualidade ambiental com relativo baixo custo e rapidez.

O monitoramento contínuo, através da utilização desse tipo de biomarcadores em peixes, associado aos parâmetros ambientais e químicos, nas áreas de influência portuária, poderá oferecer um diagnóstico seguro sobre a saúde das comunidades ícticas e dos ecossistemas aquáticos (SOUSA et al., 2013). Assim, o táxon *S. herzbergii*, tem-se apresentado como um bioindicador adequado para avaliação da qualidade ambiental da Unidade de Conservação (Ilha dos Caranguejos) e também dos possíveis impactos ambientais na área do complexo portuário, instalado na Baía de São Marcos, sendo as lesões branquiais uma importante ferramenta a ser utilizada como biomarcadores de contaminação aquática.

5.3 Estágios de maturação gonadal de *S. herzbergii*

Os peixes da área de referência apresentaram-se bem distribuídos nos três estágios do desenvolvimento (EG1, EG2 e EG3), entretanto não foi observado indivíduos em números expressivos nos estágios de maturação gonadal, EG4, conforme tabela 3. Na região portuária, esse padrão se comportou de maneira semelhante. Não foi possível observar todos os estágios de maturação gonadal. Alguns trabalhos do nosso grupo (Carvalho-Neta, 2014; Pinheiro-Sousa et al., 2013) que falam do assunto, nos mostra que em áreas contaminadas não são encontrados indivíduos de uma espécie em todos os seus estágios gonadais. Outros estudos mostraram uma diminuição no índice gonadosomático de peixe a partir de áreas contaminadas (MAYON et al., 2006).

Tabela 5: Porcentagem de estágios de maturação gonadal de macho e fêmea de *S. herzbergii* capturados na Baía de São Marcos, Maranhão, Brasil.

Estágio Gonadal	Área potencialmente contaminada (A1)				Referência (A2)			
	Estiagem		Chuvoso		Estiagem		Chuvoso	
	F	M	F	M	F	M	F	M
EG1	0%	0%	6%	29%	18%	11%	15%	10%
EG2	55%	78%	75%	64%	18%	33%	35%	30%
EG3	45%	22%	13%	7%	64%	56%	50%	50%
EG4	0%	0%	6%	0%	0%	0%	0%	10%

Total de animais: 60. Número de fêmeas em: A1:20 ; A2:16 . Número de machos: A1:10 ; A2:14. Estágios gonadais: EG1: imaturo, EG2: em maturação ou repouso, EG3: maturo e EG4: desovado, F: fêmeas; M: machos.

Em um estudo semelhante realizado por Carvalho-Neta e Abreu-Silva (2010) em *S. herzbergii* da região portuária (Baía de São Marcos), os estágios de maturação gonadal também foram diferenciados dos peixes da Ilha dos Caranguejos durante todo o ciclo gonadal.

Os xenobióticos vêm causando problemas para o sistema reprodutivo dos peixes, afetando diretamente o desenvolvimento dos gametas e sua viabilidade (KIME, 2000). Outro fator agravante é a presença de metais pesados, conforme análise obtida por Carvalho-Neta, 2010.

Na maioria dos peixes teleósteos, a gametogênese é um evento cíclico e sazonal. A renovação dos gametas, seu desenvolvimento, diferenciação, maturação e liberação provocam várias alterações nas características das gônadas ao longo dos ciclos reprodutivos anuais. Essas alterações são utilizadas para reconhecer fases nos ciclos reprodutivos (GUAQUIO-GRASSIOTTO; WILDNER; ISHIBA, 2013). O reconhecimento dessas fases constitui um dos parâmetros aplicados no monitoramento ambiental dessas espécies. Sendo assim esses dados são importantes para inferir sobre a sanidade das populações de *S. herzbergii* nas áreas estudadas.

5.4 Sanidade das populações de *S. herzbergii* da Baía de São Marcos

Os resultados observados para as alterações branquiais de *S. herzbergii* quanto ao grau de severidade e comprometimento da função branquial está representada na tabela 4 (período chuvoso) e tabela 5 (período de estiagem).

Tabela 6 – Patologias observadas, fator de importância (w) e percentual de lesões (%) em *Sciades herzbergii* da Baía de São Marcos no período chuvoso, Maranhão, Brasil.

Órgão	Padrão de reação	Alteração	W	% em A1	% em A2
Brânquias	Distúrbios circulatórios	<i>Aneurisma</i>	1	M=71; F=29	M=0; F=100
		<i>Hemorragia</i>	1	M=51; F=49	M=45; F=55
		<i>Levantamento epitelial</i>	1	M=48; F=52	M= 0; F= 0
		<i>Exsudação</i>	1	M=36; F=64	M=0; F=0
	Mudanças regressivas	<i>Deformação das lamelas</i>	1	M=75; F=25	M=20; F=80
		<i>Necrose do Epitélio</i>	3	M=57; F=43	M=0; F=0
		<i>Necrose do tecido de suporte</i>	3	M=33; F=67	M=0; F=0
	Mudanças progressivas	<i>Tumor malign</i>	3	M=49; F=51	M=0; F=0
		<i>Fusão lamelar</i>	1	M=50; F=50	M=0; F=0

A1 = Regiao Portuaria ; A2 = Ilha dos Caranguejos; M = machos; F = fêmeas.

Tabela 7– Patologias observadas, fator de importância (w) e percentual de lesões (%) em *Sciades herzbergii* da Baía de São Marcos no período de estiagem, Maranhão, Brasil.

Órgão	Padrão de reação	Alteração	W	% em A1	% em A2
Brânquias	Distúrbios circulatórios	<i>Aneurisma</i>	1	M=15; F=85	M=0; F=0
		<i>Hemorragia</i>	1	M=47; F=53	M=56; F=44
		<i>Levantamento epitelial</i>	1	M=56; F=44	M=0; F=0
	Mudanças regressivas	<i>Necrose do Epitélio</i>	3	M=69; F=31	M=0; F=0
		<i>Deformação das lamelas</i>	1	M=15; F=85	M=68; F=32
		<i>Exsudação</i>	1	M=56; F=44	M=0; F=0
	Mudanças progressivas	<i>Necrose do tecido de suporte</i>	3	M=47; F=53	M=0; F=0
		<i>Fusão lamelar</i>	1	M=19; F=81	M=0; F=0
		<i>Tumor maligno</i>	3	M=100; F=0	M=0; F=0
		<i>Infiltração e Tumor benigno</i>	2	M=54; F=46	M=0; F=0

A1 = região portuária; A2 = Ilha dos Caranguejos; M = machos; F = fêmeas.

Os peixes coletados na região portuária apresentaram várias alterações no tecido branquial (tabela 4 e 5). Mudanças vasculares, caracterizadas por aneurismas, hemorragias e infiltrações das células pavimentosas e das células epiteliais. Excessiva proliferação de células no epitélio do filamento causando fusão lamelar. Estes tipos de alterações foram observados nos peixes coletados em todos os pontos, mas em menor quantidade nos animais da área de referência. Também foi observada a presença de parasitos.

A espécie *S. herzbergii* tem-se mostrado adequada para diferenciar as duas áreas estudadas, visto que mostrou padrões diferentes para a região portuária (com peixes em poucos estágios gonadais e maior percentual e tipos de lesões branquiais) e para a área controle (com peixes em todos os estágios gonadais e apresentando um baixo percentual de lesões). Além dos dados de *Sciades herzbergii* também foram analisados os mesmos

parâmetros em outra espécie de bagre (*B. bagre*) que ocorrem nos mesmos ambientes investigados na Baía de São Marcos.

5.5. Biometria em *Bagre bagre*

Os dados biométricos e a análise estatística dos exemplares de *B. bagre* analisados no período de 2013 a 2015 estão indicados na tabela 8 e 9.

Tabela 8: Dados biométricos e índice gonadosomático de *B. bagre* na época chuvosa capturados pela pesca artesanal na Baía de São Marcos, Maranhão, Brasil.

Locais de coleta	Sexo	C _t (cm)	C _f (cm)	P _t (g)	P _g (g)	IGS
A1 (região portuária)	Macho	30,5±2,07	24,65±1,90	183,07±45,34	0,51±0,34	0,25±0,12
	Fêmea	34,92±1,85	28,71±1,62	285,71±43,91	9,05±8,23	3,26±3,10
A2 (Ilha dos Caranguejos)	Macho	25,05±2,78	20,9±2,49	106,2±36,74	0,14±0,20	0,11±0,11
	Fêmea	28,37±3,62	24,72±4,12	182,5±85,99	8,69±5,50	3,30±2,93

C_t = Comprimento Total; C_f = Comprimento Furcal; P_t = Peso Total; P_g = Peso das gonodas; IGS = Índice Gonadosomáticos.

Tabela 9: Análise estatística dos dados biométricos de *B. bagre* na época chuvosa capturados pela pesca artesanal na região portuária e Ilha dos Caranguejos, na Baía de São Marcos, Maranhão, Brasil.

Sexo	C _t (cm)	C _f (cm)	P _t (g)	P _g (g)
Macho	3,3798	0,0005*	0,0002*	0,0069*
Fêmea	0,0005*	0,0288*	0,0109*	0,9151

C_t = Comprimento Total; C_f = Comprimento Furcal; P_t = Peso Total; P_g = Peso das gônodas

* indica uma diferença estatística $p < 0,05$.

Os dados biométricos para machos e fêmeas na época chuvosa, indicaram que mesmo o comprimento total e furcal dos peixes capturados no local potencialmente contaminado apresentarem-se maiores do que os capturados na área de referência (A2) observou-se porém que o IGS, apresentou-se maior para as fêmeas da área de referência, igualmente ao padrão do táxon anterior (*S.herzbergii*). Este mesmo comportamento e a significância da análise estatística foram registrados para os peixes coletados na época de estiagem conforme mostrado na tabela 10 e 11.

Tabela 10: Dados biométricos e índice gonadosomático de *B. bagre* na época de estiagem capturados pela pesca artesanal na Baía de São Marcos, Maranhão, Brasil.

Locais de coleta	Sexo	C _t (cm)	C _f (cm)	P _t (g)	P _g (g)	IGS
A1 (região portuária)	Macho	30,42±2,07	25,06±2,79	199,04±61,49	0,58±0,31	1,86±0,92
	Fêmea	32,53±2,79	26,46±2,35	275,37±54,12	9,92±7,43	2,30±2,32
A2 (Ilha dos Caranguejo)	Macho	25,16±2,63	21,2±2,48	107±25,69	0,26±0,38	1,0±1,44
	Fêmea	28,37±3,48	24,60±3,95	182,40±81,20	7,89±5,72	2,65±1,92

C_t = Comprimento Total; C_f = Comprimento Furcal; P_t = Peso Total; P_g = Peso das gonodas; IGS = Índice Gonadosomáticos.

Tabela 11: Análise estatística dos dados biométricos de *B. bagre* na época estiagem capturados pela pesca artesanal na região portuária e Ilha dos Caranguejos, na Baía de São Marcos, Maranhão, Brasil.

Sexo	C _t (cm)	C _f (cm)	P _t (g)	P _g (g)
Macho	9,2291	0,0046*	0,0005*	0,0555
Fêmea	0,0096*	0,2313	0,0088*	0,4985

C_t = Comprimento Total; C_f = Comprimento Furcal; P_t = Peso Total; P_g = Peso das gônodas

* indica uma diferença estatística p<0,05.

5.6 Histopatologia em *B. bagre*

A análise das brânquias dos exemplares de *Bagre bagre* coletados na baía de São Marcos, indicou a presença de várias alterações morfológicas em indivíduos tanto da área potencialmente contaminada (A1), quanto da área de referência (A2). Os principais tipos de alterações histológicas encontradas foram: estreitamento lamelar, aneurisma, fusão das lamelas secundárias e descolamento do epitélio das lamelas secundárias.

O padrão de normalidade das lamelas primárias das brânquias de *Bagre bagre*, coletados para a área de referência (A2) pode ser observado na figura 12.

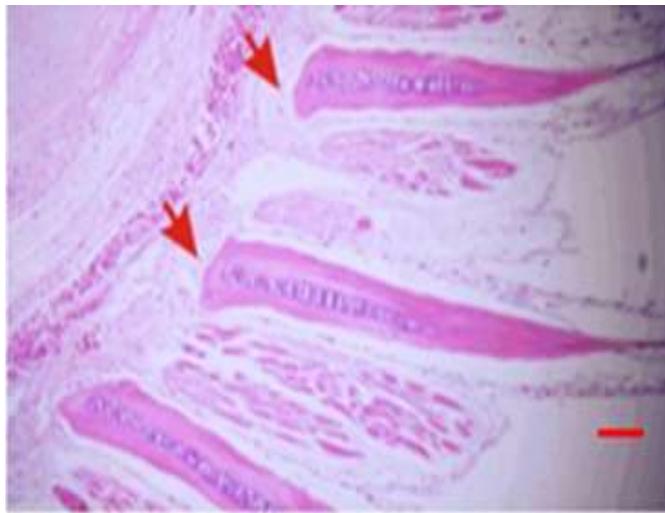


Figura 12 - Fotomicrografia do primeiro arco branquial direito de exemplares de *B. bagre* coletados na Ilha dos Caranguejos, Baía de São Marcos. Detalhe de filamentos branquiais mostrando duas lamelas primárias normais (setas). Barra = 50 μ m.

O estreitamento das lamelas (fig. 13), muito presente nesses peixes, traz consigo um problema, estas adaptações contra os distúrbios do ambiente aquático reduzem a área da superfície respiratória e, assim, as trocas gasosas, que ali ocorrem normalmente, são dificultadas visto o decréscimo na capacidade de difusão podendo levar o peixe à asfixia (OJHA, 1999).



Figura 13 - Fotomicrografia do primeiro arco branquial direito de exemplares de *B. bagre* coletados na Baía de São Marcos. Detalhe de filamentos branquiais mostrando uma lamela primária com estreitamento lamelar (setas). Barra = 50 μ m.

Além dessas alterações no epitélio branquial, foram observadas também nesses peixes alterações vasculares nas lamelas, como aneurismas (fig.14), estrutura essa que se forma quando os animais estão sob estresse mais severo. Assim, um aumento do fluxo sanguíneo para o interior da lamela ou mesmo a ação direta dos contaminantes pode desestruturar as células pilares ou até mesmo rompê-las (HEATH, 1987).

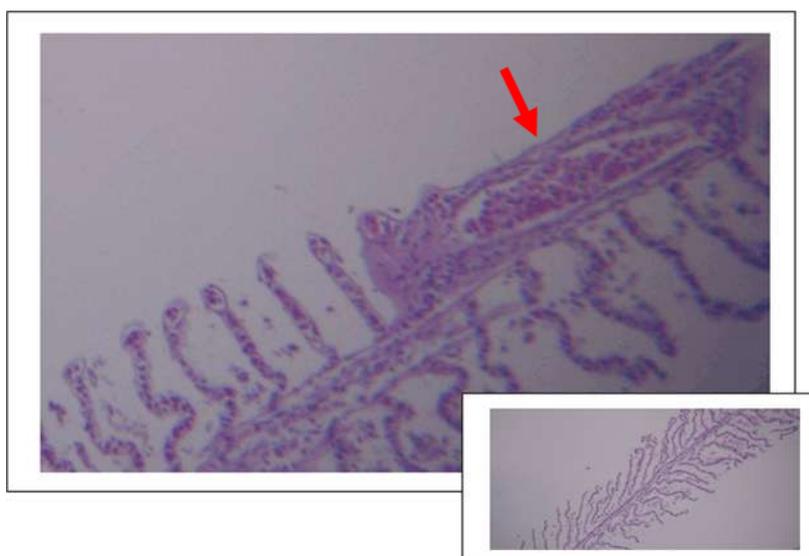


Figura 14 - Fotomicrografia do primeiro arco branquial direito de exemplares de *B. bagre* coletados na Baía de São Marcos. Detalhe de filamentos branquiais mostrando aneurisma em lamelas secundárias (seta). Barra = 50 μ m.

De uma maneira geral, foram observados os mesmos tipos de alterações branquiais tanto nos animais da área potencialmente contaminada, quanto da área de referência para essa espécie. Essas mesmas histopatologias em brânquias foram encontradas também em estudos realizados por Guarcia-Santos et al. (2007) com tilápias (*Oreochromis niloticus*) quando expostas ao cádmio.

Nas brânquias dos peixes deste experimento, apesar da grande quantidade de alterações encontradas, como fusão lamelar (fig.15), não pode garantir que se deva ao fato dos desarranjos ambientais da região, pois constatamos que o fato de se tratar de uma espécie migrante marinha, esse animal percorre outras áreas e regiões potencialmente contaminadas (ABSOLON; ANDREATA, 2009).

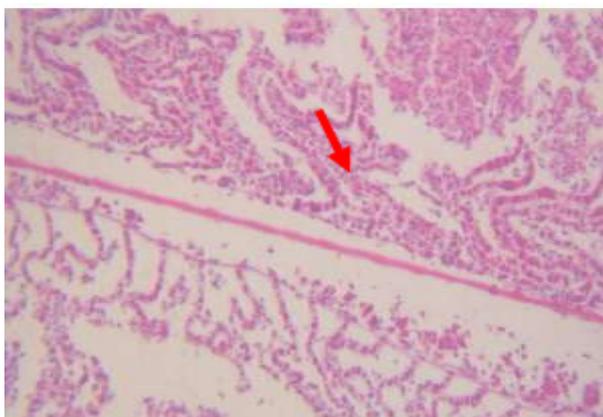


Figura 15 - Fotomicrografia do primeiro arco branquial direito de exemplares de *B. bagre* coletados na Baía de São Marcos. Detalhe de filamentos branquiais mostrando uma lamela secundária com fusão lamelar (seta). Barra = 50 μ m

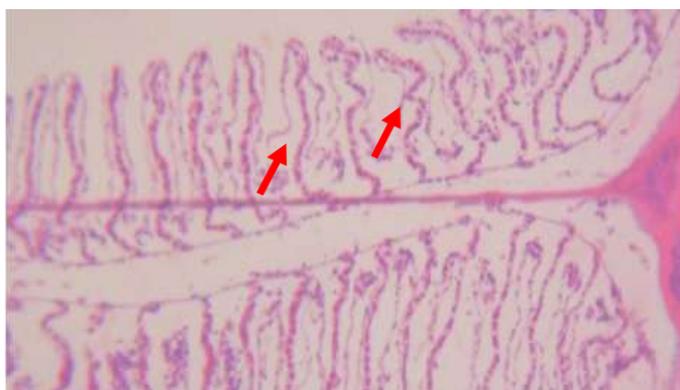


Figura 16 - Fotomicrografia do primeiro arco branquial direito de exemplares de *B. bagre* coletados na Baía de São Marcos. Detalhe de filamentos branquiais mostrando uma lamela secundária com elevação do epitélio (seta). Barra = 50 μ m.

A maioria das lesões branquiais que ocorrem em exposições subletais afeta o epitélio da lamela secundária (HINTON; LAUREN, 1990). O epitélio brânquias de peixes é um tecido extremamente sensível, dinâmico e metabolicamente ativo (RANKIN et al., 1982; HINTON et al., 1992; POLEKSIC; MITROVIC TUTUNDZIC, 1994).

5.7 Estágios de maturação gonadal de *B. bagre*

Os resultados percentuais dos estágios gonadais dos peixes para todo período analisado, de uma forma geral, apresenta-se distribuídos em quase todos os estágios, para fêmea e macho, sendo uma predominância de indivíduos em maturação (EG2), na área potencialmente contaminada. Já na área de referência, apresenta-se para fêmea e macho a predominância de indivíduos maduros (EG3). Com isso percebemos que a área de referência ainda continua sendo o local que apresenta as melhores condições para o desenvolvimento reprodutivo com todos os estágios de desenvolvimento.

Tabela 12: Porcentagem de estágios de maturação gonadal de macho e fêmea de *B. bagre* capturados na Baía de São Marcos, Maranhão, Brasil.

Estágio Gonadal	Área potencialmente contaminada (A1)				Referência (A2)			
	Estiagem		Chuvoso		Estiagem		Chuvoso	
	F	M	F	M	F	M	F	M
EG1	21%	27%	15%	25%	20%	82%	30%	75%
EG2	45%	46%	57%	42%	30%	0%	40%	0%
EG3	34%	8%	14%	15%	34%	18%	20%	25%
EG4	0%	19%	14%	18%	16%	0%	10%	0%

Total de animais: 60. Número de fêmea em: A1:20; A2:16 . Número de macho: A1:10; A2:14. Estágios gonadais: EG1: imaturo, EG2: em maturação ou repouso, EG3: maduro e EG4: desovado, F: fêmea; M: macho.

5.8. Sanidade das populações de *B. bagre* da baía de São Marcos

Podemos observar nas tabelas 9 e 10 as principais patologias e o grau de severidades das lesões encontradas nas populações de *B. bagre*. No período chuvoso e de estiagem, as lesões estão bem distribuídas em ambas as áreas.

Tabela 13: Patologias observadas, fator de importância (w) e percentual de lesões (%) em *Bagre bagre* da Baía de São Marcos no período chuvoso, Maranhão, Brasil.

Órgão	Padrão de reação	Alterações	W	% em A1	% em A2
Brânquias	Distúrbios circulatórios	<i>Aneurisma</i>	1	M=6; F=5	M=13; F=1
		<i>Hemorragia</i>	1	M=0; F=3	M=0; F=2
		<i>Desorganização do epitélio e das lamelas</i>	1	M= 19; F= 4	M=12; F=15
	Mudanças regressivas	<i>Levantamento epitelial</i>	1	M=15; F=12	M=18; F=11
		<i>Neoplasia</i>	3	M=7; F=7	M=2; F=3
		<i>Necrose do Epitélio</i>	3	M=23; F=29	M=17; F=26
		<i>Necrose do tecido de suporte</i>	3	M=22; F=17	M=23; F=26
		<i>Tumor maligno</i>	3	M=8; F=7	M=10; F=10
		<i>Fusão lamelar</i>	2	M=24; F=15	M= 12; F=20
		Mudanças progressivas	<i>Hipertrofia</i>	2	M= 2; F=4
<i>Infiltração do tumor benigno</i>	2		M=0; F=0	M=0; F=0	

A1 = Regiao Portuaria ; A2 = Ilha dos Caranguejos; M = machos; F = fêmeas.

Tabela 14: Patologias observadas, fator de importância (w) e percentual de lesões (%) em *Bagre bagre* da Baía de São Marcos no período de estiagem, Maranhão, Brasil.

Órgão	Padrão de reação	Alterações	w	% em A1	% em A2	
Brânquias	Distúrbios circulatórios	<i>Aneurisma</i>	1	M= 3; F= 1	M=10; F=1	
		<i>Hemorragia</i>	1	M= 0; F= 5	M=0; F=0	
	Mudanças regressivas	<i>Desorganização do epitélio e das lamelas</i>		1	M= 19; F= 4	M=12; F=15
		<i>Exsudação</i>		1	M= 0; F= 0	M=0; F=0
		<i>Neoplasia</i>		3	M= 4; F=5	M=11; F=0
		<i>Necrose do epitélio</i>		3	M=2; F= 27	M=11; F=25
		<i>Necrose do tecido de suporte</i>		3	M= 24; F= 17	M=25; F=7
		<i>Tumor maligno</i>		3	M=7; F= 8	M=11; F=7
		<i>Fusão lamelar</i>		2	M= 2; F= 0	M=12; F=20
	Mudanças progressivas	<i>Hipertrofia</i>		2	M= 2; F=4	M=8; F=0
<i>Infiltração do tumor benigno</i>		2	M= 0; F=5	M=0; F=25		

A1 = Região Portuária; A2 = Ilha dos Caranguejos; M = machos; F = fêmeas.

Em uma análise geral do nível de severidade das lesões observadas na espécie migrante marinha (*B. bagre*), constatou-se que o fator de importância das lesões predominantes foram de 2 e 3. A espécie em estudo não nos possibilitou uma diferenciação de alterações em ambas as áreas, visto que, suas alterações foram distribuídas de igual modo para as duas áreas.

A sensibilidade da ictiofauna aos poluentes pode variar de acordo com a suscetibilidade da espécie, a sazonalidade e sua capacidade de migração (BERNET et al., 1999). A capacidade de migração e a grande mobilidade de *B. bagre* parece ser o processo que melhor explica a existência das lesões branquiais observadas nos indivíduos de ambas as áreas amostradas.

Em uma análise comparativa das duas espécies de bagres estudadas verificou-se que apenas *S. herzbergii* apresentou uma sensibilidade capaz de diferenciar áreas, podendo ser utilizada como espécie bioindicadora para se avaliar impactos através de biomarcadores morfológicos (alterações branquiais). Os bioindicadores são organismos, grupos de espécies ou comunidades biológicas cuja presença, abundância e condições são indicativos biológicos de uma determinada condição ambiental, sendo importantes para avaliar um determinado fator antrópico ou um fator natural com potencial impactante (CALLISTO et al., 2001).

Assim a espécie estuarina-residente (*S. herzbergii*) demonstrou um comportamento mais apropriado para a análise de biomarcadores de contaminação aquática porque sua sensibilidade aos poluentes permitiu uma comparação entre as áreas de estudo. Já a espécie migrante marinha (*B. bagre*) não possibilitou essa diferenciação, visto que mostrou alterações branquiais nas mesmas proporções nas duas áreas, provavelmente em função dos processos migratórios e fisiológicos dos indivíduos.

Esses resultados reforçam a importância do uso das mais diferenciadas metodologias de biomonitoramento dos ecossistemas estuarinos na costa Norte do Brasil. A utilização de lesões branquiais em espécies nativas como biomarcadores de contaminação aquática podem ajudar na avaliação mais criteriosa da qualidade ambiental, e com um baixo custo e rapidez. O monitoramento continuado através da utilização desse tipo de biomarcadores em peixes, juntos aos outros parâmetros ambientais e químicos, nas áreas de influência portuária ajudará em um diagnóstico seguro sobre a saúde das comunidades ícticas e dos ecossistemas aquáticos.

6 CONCLUSÕES

Os dados dos trabalhos realizados para a análise de biomarcadores de contaminação aquática em peixes estuarinos da Baía de São Marcos, Maranhão permitiram concluir que:

- *Sciades herzbergii* comportou-se como uma espécie bioindicadora apropriada para os ambientes analisados na Baía de São Marcos, indicando respostas biológicas diferenciadas na Ilha dos Caranguejos e no complexo portuário;
- As brânquias dos bagres das duas espécies coletadas próximas ao complexo portuário mostraram uma proporção maior de alterações morfológicas, sugerindo que os peixes amostrados no período se encontravam com uma saúde comprometida, provavelmente, em função dos poluentes dessa região;
- Na área de referência (Ilha dos Caranguejos) foram encontradas alterações histológicas nas brânquias de *Bagre bagre*, provavelmente, oriundas da exposição desses peixes aos poluentes de outras regiões visitadas por esses organismos migrantes;
- Os índices de alterações morfológicas podem ser utilizados em programas de biomonitoramento em áreas legalmente protegidas e potencialmente contaminadas da Baía de São Marcos porque mostram o grau de severidade dessas lesões;
- A qualidade do pescado capturado na região portuária pode estar comprometida, já que os exemplares das duas espécies amostradas apresentaram mais alterações irreversíveis.

Os dados aqui apresentados são importantes para o conhecimento científico da qualidade dos recursos pesqueiros da Baía de São Marcos, especialmente, para os pescadores locais que ainda se beneficiam com a captura do pescado oriundo da região portuária. As metodologias utilizadas nesta investigação podem ser utilizadas em futuros programas de biomonitoramento das agências ambientais responsáveis pela gestão das regiões estudadas.

REFERÊNCIAS

ABSOLON, B. A.; ANDREATA, J. V. Variação espacial dos bagres (Siluriformes, Ariidae) coletados na Baía da Ribeira, Angra dos Reis, Rio de Janeiro, e prováveis influências da temperatura e salinidade. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 2, n. 2, p.155-165, 2009.

ADAMS, S. M. Application of bioindicators in assessing the health of fish populations experiencing contaminant stress. In: MMARTHY, J. F.; SHUGART, L.R. (Ed.). **Biomarkers of environmental contamination**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1990. p. 333-353.

AGUNWAMBA, J. C.; ONUOHA, K. C.; OKOYE, A. C. Potential effects on the marine environment of dredging of the Bonny channel in the Niger Delta. **Environmental Monitoring Assessment**, v.184, p.6613-6625, 2011.

AMADO, L. L.; DA ROSA, C. E.; LEITE, A. M.; MORAES, L.; PIRES, W. V.; LEÃES PINHO, G. L.; MARTINS, C. M. G.; ROBALDO, R. B.; NERY, L. E. ; MONSERRAT, J. M. Biomarkers in croakers *Micropogonias furnieri* (Teleostei: Sciaenidae) from polluted and non-polluted areas from the Patos Lagoon estuary (Southern Brazil): evidences of genotoxic and immunological effects. **Marine Pollution Bulletin**, v. 52, n. 2, p. 199-206, 2006.

AMORIM, L. C. A. Os biomarcadores e sua aplicação na avaliação da exposição aos agentes químicos ambientais. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 6, n. 2, p. 158-170, 2003b.

ANTAQ. **Portos brasileiros**. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/Portal/pdf/Portos/Itaqui.pdf>> Acesso em: 30 de dez. 2014.

ARAÚJO, F. G. Abundancia relativa, distribuição e movimentos sazonais de bagres marinhos (Siluriformes, Ariidae) no estuário da Lagoa dos Patos-RS. **Revista Brasileira de Zoologia**, n. 5, p. 509-543, 1988.

ARAÚJO, M. E.; TEIXEIRA, J. M. C.; OLIVEIRA, A. M. E. **Peixes estuarinos marinhos do Nordeste brasileiro: guia ilustrado**. Fortaleza: Edições UFC, 2004.

AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. M. **As bases toxicológicas das ecotoxicologia**. São Carlos: RiMa/Intertox, 2003. 340p.

BALDISSEROTTO, B. **Fisiologia de peixes aplicado a piscicultura**. 2. ed. Santa Maria: UFSM, 2009. 352p.

BARRETT, J. C.; VAINIO, H.; PEAKALL, D.; GOLDSTEIN, B. D. 12TH Meeting of the scientific group on methodologies for the safety evaluation of chemical: susceptibility to environmental hazards. **Environmental Health Perspective**, v. 105, p. 699-737, 1997.

BARROS, R. C. R.; RAMOS, A. SANTOS ; CESAR, R. G. ; ARAUJO, P. C. ; BIDONE, E. D. ; CASTILHOS, Z. C. ; LINDE, A. R. ; ALMOSNY, N. Comparação entre os valores hematológicos de apaiari (*Astronotus ocellatus*) sadios e intoxicados experimentalmente por metilmercúrio. In: X Congresso Brasileiro de Ecotoxicologia, 2008, Bento Gonçalves. Resumos - X Congresso Brasileiro de Ecotoxicologia, 2008. v. 1. p. 241-241.

BERLIN, A.; YODAIKEN, R. E. & HENMAN, B. A., 1984. Assessment of Toxic Agents at the Workplace. **Roles of Ambient and Biological Monitoring**. Boston: Hague Nijhoft.

BERNET, D.; SCHIMIDT, H.; MEIER, W. et al. Histopathology in Fish: Proposal for a Protocol to Assess Aquatic Pollution. **Journal Fish Disease**, v.22, p.25-34, 1999.

BITAR, O.Y.; ORTEGA, R.D. Gestão Ambiental. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), cap. 32, p.499-508, 1998.

BRÁZOVÁ, T.; HANZELOVÁ, T.; MIKLISOVÁ, D.; SLAGOVICOVÁ, D.; TURCEKOVÁ, L. Biomonitoring of polychlorinated biphenyls (PCBs) in heavily polluted aquatic environment in different fish species. **Environmental Monitoring Assessment**, 2011.

BRECKENRIDGE, R. P.; MANGUBA, M.; ANDERSON, P. J.; BARTISH, M. T. Using biomonitoring data of stewardship of natural resources. In: HOFFMAN, D. J.; RATTNER, B. A. ALLEN BURTON, JR. G.; JONH CAIRNS, JR (Eds.). **Handbook of Ecotoxicology**. 2 nd ed. Boca Raton: Lewis Publishers, 2002. p 1290.

BUCHELI, T. D.; FENT, K. Induction of cytochrome P450 as biomarker for environmental contamination in aquatic ecosystems. **Critical Review in Environmental Science Technology**, v. 25, p. 201-268, 1995.

CALLISTO, M.; MORENO, P.; BARBOSA, F.A.R. Habitat diversity and benthic functional trophic groups Serra do Cipó, Southeast Brazil. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 61, n. 2, p. 259-266. 2001.

CALLISTO, M.; MORENO, P.; BARBOSA, F.A.R. Habitat diversity and benthic functional trophic groups Serra do Cipó, Southeast Brazil. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 61, n.2, p. 259-266. 2001.

CAMARGO, M. M. P.; MARTINEZ, C. B. R. Biochemical and physiological biomarkers in *Prochilodus lineatus* submitted to in situ tests in an urban stream in southern Brazil. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 21, p. 61-69, 2006.

CANTANHÊDE, S.M.; MEDEIROS, A.M.; FERREIRA, F.S.; FERREIRA, J.R.C.; ALVES, L.M.C.; CUTRIM, M.V.J.; SANTOS, D.M.S. Uso de biomarcador histopatológico em brânquias de *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1972) na avaliação da qualidade da água do Parque Ecológico Laguna da Jansen, São Luís – MA. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.66, n.2, p.593-601, 2014.

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.; NUNES, J. L. S. ; PIORSKI, N. M. Peixes estuarinos do Maranhão. In : NUNES, J. L. S. ; PIORSKI, N. M. **Peixes marinhos e estuarinos do Maranhão**. São Luís: Café & Lápis - FAPEMA, 2011. p 95-104.

CARVALHO-NETA, R. N. F.; TORRES JR., A. R.; 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, n. 1, p. 1-12, 2012.

CARVALHO-NETA, R. N. F.; TORRES JR., A. R.; 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, n. 1, p. 1-12, 2012.

CARVALHO-NETA, R. N. F.; TORRES JR., A. R.; 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, n. 1, p. 1-12, 2012.

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. **Biomarcadores e inteligência artificial para monitoramento de impactos ambientais no Complexo Portuário de São Luís-Maranhão**. 2010. 119 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia). RENORBIO – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2010.

CERVIGÓN, F. **Los peces marinos de Venezuela**. Volumen I. Caracas: Fundación Científica Los Roques, 1991.

CETESB. Disponível em: < [http:// http://www.cetesb.sp.gov.br/](http://www.cetesb.sp.gov.br/)> Acesso em: 20/03/2015.

COLOMBI, J. S. **Experimentos de contaminação in vitro com mehg e hgcl2em *Hoplias malabaricus* (BLOCK, 1794)**. Monografia Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF CAMPOS DOS GOYTACAZES / RJ JULHO – 2009. Bacharel em Biociências e biotecnologia.

CORGOSINHO, P.H.C.; CALIXTO, L.S.F.; FERNANDES, P.L.; GAGLIARDI, L.M.; BALSAMÃO, V.L.P. Diversidade de habitats e padrões de diversidade e abundância dos bentos ao longo de um afluente do reservatório de Três Marias, MG. **Arquivos do Instituto Biológicos**.; v. 71, n. 2, p. 227-232, 2004.

COSTA, M. P.; DINIZ, M. S.; CAEIRO, S.; LOBO, J.; MARTINS, M.; FERREIRA, A. M.; CAETANO, M.; VALE, C.; DELVALLS, T. A.; COSTA, M. H. Histological biomarkers in liver and gills of juvenile *Solea senegalensis* exposed to contaminated

estuarine sediments: A weighted indices approach. **Aquatic Toxicology**, v. 92, p. 202-2012, 2009.

COSTA, M. P.; DINIZ, M. S.; CAEIRO, S.; LOBO, J.; MARTINS, M.; FERREIRA, A. M.; CAETANO, M.; VALE, C.; DELVALLS, T. A.; COSTA, M. H. Histological biomarkers in liver and gills of juvenile *Solea senegalensis* exposed to contaminated estuarine sediments: A weighted indices approach. **Aquatic Toxicology**, v. 92, p. 202-2012, 2009.

COSTA, M. P.; DINIZ, M. S.; CAEIRO, S.; LOBO, J.; MARTINS, M.; FERREIRA, A. M.; CAETANO, M.; VALE, C.; DELVALLS, T. A.; COSTA, M. H. Histological biomarkers in liver and gills of juvenile *Solea senegalensis* exposed to contaminated estuarine sediments: A weighted indices approach. **Aquatic Toxicology**, v. 92, p. 202-2012, 2009.

DOMINGOS, F. X. D. **Biomarcadores de contaminação ambiental em peixes e ostras de três estuários brasileiros e cinética de derivados solúveis do petróleo em peixes**. 2006. 103 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Paraná.

EIRAS, JC. 1994. Elementos de Ictioparasitologia. Porto, Fundação Eng. António de Almeida. 339 p.

EMAP. Disponível em: < <http://www.cetesb.sp.gov.br/>> Acesso em: 20/04/2015.

EMPRAPA. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>> Acesso em: 23/02/20015.

FERNANDEZ, W. S.; DIAS, J. F.; RIBEIRO, C. A. O.; AZEVEDO, J. S. Liver damages and nuclear abnormalities in erythrocytes of *Atherinella brasiliensis* (Actynopterigii, Atherinopsidade) from two Beaches in Southeast of Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 59, n. 2, p. 163-169, 2011.

FERRARO, M. V. M. **Avaliação de três espécies de peixes – *Rhamdia quelen*, *Cyprinus carpio* e *Astyanax bimaculatus*, como potenciais bioindicadores em sistemas hídricos através dos ensaios: cometa e dos micronúcleos**. 2009. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

FIGUEIREDO, J. L. MENEZES, N. A. **Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil: II Teleostei (1)**. São Paulo: Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, 1978.

FOSSI, C. & LEONZIO, C. 1993. **Nondestructyive biomarkers in vertebrates**. Boca Raton. Floride, Lewis. 313p.

FURTADO, J. G. C. **Estudo de impactos ambientais causados por metais pesados em água do mar na Baía de São Marcos: correlações sensíveis de background**. 2007.

GUAQUIO-GRASSIOTTO, I.; WILDNER, D.D.; ISHIBA, R, Gametogênese de peixes: aspectos relevantes para o manejo reprodutivo. **Revista Brasileira Reprodução Animal**, Belo Horizonte, v.37, n.2, p.181-191, 2013.

GUARCIA-SANTOS, S.; MONTEIRO, S.M.; CARROLA, J. et al. Alterações histológicas em brânquias de tilápia nilótica *Oreochromis niloticus* causadas pelo cádmio. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, p.376-381, 2007.

HINTON, D.E.; LAUREN, D.J. Liver structural alterations accompanying chronic toxicity in fishes: potential biomarkers of exposure. In: McCARTHY, J.F.; SHUGART, L.R. (Eds.). **Biological Markers of Environmental Contamination**. Boca Raton: CRC Press, 1990.

HINTON, D. E. et al. Histopathologic Biomarkers. In: HUGGETT et al. **Biomarkers biochemical, physiological and histological markers of anthropogenic stress**. Boca Raton: Lewis Publishers, p. 155-196, 1992.

HEATH. A. G. **Water pollution and fish physiology**. CRC Press: Flórida, 1987. p 359.

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.

HUGHES, G. M. **Species variation in gas exchange**. Proceedings of the Royal Society of Medicine, v. 59, n. 6, p. 494-500, 1966.

HULKA, B. S. Overview of biological markers. In: HULKA, B. S.; GRIFFITH, J. D.; WILCOSKY, T. C. **Biological markers in epidemiology**. New York: Oxford University Press, 1990. P. 3-15.

ICMBIO. Disponível em:< <http://www.icmbio.gov.br>.> Acesso em 12 de Janeiro de 2015.

JESUS, T. B.; CARVALHO, C. E. V. Utilização de biomarcadores em peixes como ferramenta para avaliação de contaminação ambiental por mercúrio (Hg). **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 4, p. 682-693, 2008.

JOYEUX, J.; FILHO, E. A. C.; JESUS, H. C. Trace metal contamination in estuarine fishes from Vitoria Estuary, ES, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, n. 5, p. 765-774, 2004.

KABATA, Z. 1970. Crustacea as Enemies of Fishes. T.F.H. Publications, USA, 171p.

KARR, J.; CHU, E.W. **Restoring life in running waters**: better biological monitoring. Washington, Inland Press; 1999.

KENNISH, M. J. **Ecology of estuaries**: antropogenic effects. Boca Raton: CRC Press, 1991. 494 p.

KIME, D.E., A strategy for assessing the effects of xenobiotics on fish reproduction. **Kluwer Academy Publishers**, New York, pp. 20-28, 2000.

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

LAN, P. K. S.; GRAY, J. S. Predicting effects of toxic chemicals in the Marine **Environmental Marine Pollution Bulletin**, v. 3, n. 42, p. 169-173, 2001.

LARA-DOMINGUEZ, A. L.; YANEZ-ARANCIBIA, A.; LINHARES, F. A. Biología y ecología del bagres Arius Melanopus Günther en Laguna de Términos, Sur del Golfo de México (Pisces: Ariidae). **Instituto Ciencias del Mar y Limnología**, v. 8, n. 1, p. 267-304, 1981.

LECH, J. J.; VODICNIK, M. J. Biotransformation. In: RAND, G. M.; PETROCELLI, S. R. (eds). **Fundamentals of Aquatic Toxicology**: methods and applications. New York, USA: Hemisphere Publishing Corporation, 1985. 526-557 p.

LEMOS, N. G.; DIAS, A. L.; SILVA-SOUZA, A. T.; MANTOVANI, M. S. Evaluation of environmental waters using comet assay in *Tilapia rendalli*. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 19. 197-201, 2005.

LINS, J. A. P. N.; KIRSCHNIK, P. G.; QUEIROZ, V. S.; CIRIO, S. M. Uso de peixes como biomarcadores para monitoramento ambiental aquático. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 8, p. 469 – 484, n. 4, 2010.

MMA, 2009. Programa Nacional do Meio Ambiente II PNMA II - Fase 2 2009 – 2014. Componente desenvolvimento institucional, Subcomponente monitoramento ambiental. Ministério do Meio Ambiente /Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Brasília.

MACHADO, M. R. Uso de brânquias de peixes como indicadores de qualidade das águas. **UNOPAR Científica**, v.1, n. 1, p. 63-76, 1999.

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.

MARIGÓMEZ, I. ; SOTO, M. ; CANCIO, I. ; ORBEA, A. ; GARMENDIA, L. ; CAJARAVILLE, P. Cell and tissue biomarkers in mussel, and histopathology in hake and anchovy from Bay of Biscay after the Prestige oil spill (Monitoring Campaign 2003). **Marine Pollution Bulletin**, v. 53 p. 287–304, 2006.

MARTINS, L. K. P.; NASCIMENTO, I. A.; FILLMANN, G.; KING, R.; EVANGELISTA, A. J. A.; READMAN, J. W.; DEPLEDGE, M. H. Lysosomal responses as a diagnostic tool for the detection of chronic petroleum pollution at Todos os Santos Estuary, Brazil. **Environmental Research**, v. 99,n. 3, p. 387-396, 2005.

MAYON, N., A. BERTRAND, D. LEROY, C. MALBROUCK, S.N.M. MANDIKI, F. SILVESTRE, J.P. THOME & P. KESTEMONT. 2006. Multiscale approach of fish responses to different types of environmental contaminations: a case study. **Science of the Total Environment**, 367: 715-731.

MEDEIROS, P.M. ; BÍCEGO, M. C. ;CASTELAO, R. M. ; DEL ROSSO, C., FILLMANN, G. ; ZAMBONI, A. J. Natural and anthropogenic hydrocarbon inputs to sediments of Patos Lagoon Estuary, Brazil. **Environmental International**, v. 31, n.1, p. 77-87, 2005.

MÍLEN, A.F.; COSTA, A. S.; MELO, A. V. L.; AROUCHA, F. L.; DIAS, L. J. B. S. **Complexo Portuário da Baía de São Marcos: contribuições às análises geoambientais**. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia, Goiânia. 2006.

MONTES, C. S.; FERREIRA, M. A. P.; SANTOS, S. S .D. Branchial histopathological study of *Brachyplatystoma rousseauxii* (Castelnau, 1855) in the Guajará bay, Belém, Pará State, Brazil. **Acta Scientiarum Biological Science**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 93-99, 2010.

NASCIMENTO, I. A.; PEREIRA, S. A.; LEITE, M. B. N.L. Biomarcadores como instrumentos preventivos de poluição. In: ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E. (Orgs). **Ecotoxicologia aquática: princípios e aplicações**. São Carlos: RiMa, p. 413-429, 2006.

NEGRÃO, J. N. C. **Avaliação da atividade gonadal de machos e fêmeas de pescada branca, no rio Pará**. 34f. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Zoologia). Belém Pará, 2006.

NEWMAN, M. C. ; MICHAEL, C. ; UNGER, M. A. **Fundamentals of Ecotoxicology**. 2 en ed. Boca Raton : Lewis Publishers, 2002. p 131-148.

NIETO, R. M.; GARCÍA-BARREIRA, T.; GÓMEZ-ARIZA, J-L.; LÓPEZ-BAREA, R. Environmental monitoring of Domingo Rubio stream (Huelva Estuary SW Spain) by combining conventional biomarkers and proteomic analysis in *Carcinus maenas*. **Environmental Pollution**, v. 158, p. 401-408, 2010.

NOGUEIRA, D. J.; CASTRO, S. C.; VIEIRA, R. C. A.; SÁ, O. R. Utilização das brânquias de *Pimelodus maculatus* (Lacépède, 1803) (Siluriformes; Pimelodidae) como biomarcador de poluição no reservatório da UHE Marechal Mascarenhas de Moraes, Minas Gerais, Brasil. **Biotemas**, v. 24, n. 3, p. 51-58, 2011.

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.

OJHA, J. Fish gills: potential indicators of ecodegradation of aquatic environments. In: MITTAL, A. K.; EDDY, F. B.; DATTAMUNSHI, J. S. (Eds). **Water/air transition in biology**. E.U.A.: Science Publishers, 1999. p. 263 – 279.

PALMA, J. J. Geomorfologia da plataforma continental norte brasileira. In: PROJETO REMAC. **Geomorfologia da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, CENPES, DINTEP, 1977. 177 p. (Série projeto REMAC).

PEREIRA, M. S.; KUCH, B. Heavy metals, PCDD/F and PCB in sewage sludge samples from two wastewater treatment facilities in Rio de Janeiro State, Brazil. **Chemosphere**, v. 60, n. 7, p. 844-853, 2005.

PIVETTA, F.; Machado, J. M. H.; Araújo, U. C.; MOREIRA, M. F. R.; APOSTOLI, P. Monitoramento biológico: conceitos e aplicações em saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 17, n. 3, p. 545-554, 2001.

POLEKSIC, V.; MITROVIC-TUTUNDZIC, V. Fish gills as a monitor of sublethal and chronic effects of pollution. In: MÜLLER, R.; LLOYD, R. **Sublethal and chronic effects of pollutants on freshwater fish**. Oxford: Fishing News Books, 1994. p. 339-352.

RANKIN, J. C.; STAGG, R. M.; BOLIS, L. **Effects of pollutants on gills**. In: HOULIHAN, D. F.; RANKIN, J. C.; SHUTTLEWORTH, T. J. (Editores). *Gills*. Cambridge: Cambridge University Press, 1982. p. 207-219.

RESENDE, O.F.K.; SANTOS, M.R.; SANTOS, M.R.; SHIMADA, B.C.J.; SILVA, C.M.R.J.; MUNIZ, D.S.A.C. Histopatologia de brânquias de Tilapia do Nilo *Oreochromis niloticus*, provenientes da represa Billing, área de proteção ambiental Bororé – Colônia. **Atas de Saúde Ambiental – ASA**. v.1, n.1, 2013.

ROBERTS, RJ, KA JOHNSON & MT CASTEN. 2004. Control of *Salmincola californiensis* (Copepoda: Lernaeopodidae) in rainbow trout, *Onchorhynchus mykiss* (Walbaum): a clinical and histopathological study. *J. Fish Dis.*, 27: 73-79.

RODRIGUES, A. P. C.; MACIEL, P. O.; PEREIRA DA SILVA, L. C. C.; ALBUQUERQUE, C.; INÁCIO, A. F.; FREIRE, M.; LINDE, A. R.; ANDRENATA, J. V.; BIDONE, E. D.; CASTILHOS, Z. C. Biomarkers for Mercury Exposure in Tropical Estuarine Fish. **Journal Brazilian Society Ecotoxicology**, v. 5, n. 1, 2010, p. 9-18, 2010.

RODRIGUES, A. P. C.; OLIVEIRA, M. P.; PINHO, B. A.; PIMENTEL, V. M.; FIGUEIREDO, A. C.; SILVA, L. C. C. P.; VAN STRAALLEN, M. N. Evaluation of

bioindicator systems derived from soil arthropod communities. **Applied Soil Ecology**, v. 9, 429-437, 1998.

RODRIGUES, A. S. L.; MALAFAIA, G.; CASTRO, P. T. A. Avaliação ambiental de trechos de rios na região de Ouro Preto-MG através de um protocolo de avaliação rápida. **Revista de estudos ambientais**, v. 10, n. 1, p. 74-83, 2008.

ROLA, R. C. ; MONTEIRO, M. C. ; REIS, S. R. S. ; SANDRINI, J. C. Molecular and biochemical biomarkers responses in the mussel *Mytilus edulis* collected from Southern Brazil coast. **Marine Pollution Bulletin**, 2012.

SÁENZ, L. I. ; SEIBERT, E. L. ; ZANETTE, J. ; FIEDLER, H. D. ; CURTIUS, A. J. ; FERREIRA, J. F. ; ALMEIDA, E. A. ; MARQUES, M. R. F. ; BAINY, A. C. D. Biochemical biomarkers and metals in *Perna perna* mussels from maricultua zones of Santa Catarina, Brazil. **Ecotoxicology Environmental and Safety**, v. 73, n. 1, p. 796-804, 2010.

SANTOS, D.M.S.; CRUZ, C.F.; PEREIRA, D.P. 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, p.199-205, 2012.

SANTOS, G. S; MONTEIRO, S. M; CARROLA, J; FONTAINHAS, F. 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.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Manguezal: ecossistema entre a terra e o mar**, São Paulo: Caribbean Ecological Research, p.64, 2003.

SCHLENK, D. Necessity of defining biomarkers of use in ecological risk assesments. **Marine Pollution Bulletin**, 39: 48-53, 1999.

SEMA. 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 26 de mar. 2014.

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

SILVA, D. A.; BUZITIS, J.; KRAHN, M. M.; BÍCEGO, M. C.; PIRES-VANIN, A. M. S. Metabolites in bile of fish from São Sebastião Channel, São Paulo, Brazil as biomarkers of exposure to petrogenic polycyclic compounds. **Marine Pollution Bulletin**, v. 52, p. 175-183, 2005.

SOUSA, D. B. P.; ALMEIDA, Z. S.; CARVALHO-NETA, R. N. F. Biomarcadores histológicos em duas espécies de bagres estuarinos da Costa Maranhense, Brasil. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.65, n.2, p.369-376, 2013.

SOUSA, D. B. P.; ALMEIDA, Z. S.; CARVALHO-NETA, R. N. F. Integrated analysis of two biomarkers in *Sciades herzbergii* (Ariidae, Siluriformes), to assess the environmental impact at São Marcos' Bay, Maranhão, Brazil. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 41, n.2, p. 305-312, 2013.

SOUSA, D. B. P.; CARVALHO-NETA, R. N. F. Lesões branquais e hepáticas como biomarcadores de contaminação aquática em *Sciades herzbergii* e Bagre bagre da Baía de São Marcos, Maranhão. **Relatório parcial (Iniciação Científica - CNPq)**. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PPG) - UEMA. São Luís, 2012. 22 p.

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.

STENTIFORD, G. D.; LONGSHAW, M.; LYONS, B. P. J.; GREEN, G. M.; FEIST, S. W. Histopathological biomarkers in estuarine fish species assessment of biological effects of contaminants. **Marine Environmental Research**, v. 55, p. 137-159, 2003.

TEH, S. J.; ADAMS, S. M.; HINTON, D. E. Histopathologic biomarkers in feral freshwater fish populations exposed to different types of contaminant stress. **Aquatic Toxicology**, v. 37, p. 51-70, 1997.

TEIXEIRA, P. A. N. **Avaliação da histopatologia hepática em boga (*Chondrostoma polylepis*) e barbo (*Barbus bocagei*) capturados no Rio Vizela**. 2008. 54 f. Dissertação (Mestrado em tecnologias ambientais) - Universidade de Trás-Os-Montes, Vila Real, 2008.

UMBUZEIRO, G. A.; KUMMROW, F.; ROUBICEK, D. A.; TOMINAGA, M. Y. Evaluation of the water genotoxicity from Santos Estuary (Brasil) in relation to the sediment contamination and effluente discharges. **Environment Internacional**, v. 32, n. 3, p. 359-364, 2006.

USEPA (United States Enviromental Protection Agency). **Report on ecological risk assessment guidelines: strategic planning workshop**, EPA/630/R-92-002. Washington, DC. p. 57, 1992.

VALDEZ DOMIGOS, F. X. **Biomarcadores de contaminação ambiental em peixes e ostras de três estuários brasileiros e cinética de derivados solúveis do petróleo em peixes**. 2006. 130f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2006.

VAN DER OSST, R. ; BEYER, J.; VERMEULEN, N. P. E. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v.13, p. 57-149, 2003.

VAZZOLER, A. E de M. **Biologia e reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática**. Maringá: Eduem, 1996. 169 p.

VELLOSO, A. L.; ALMEIDA, F. M.; COUSIN, J. C. B.; PEREIRA JUNIOR, J. Histopatologia de brânquias de *Paralichthys orbignyanus* (Teleostei: Paralichthyidae) parasitado por *Therodamas fluviatilis* (Copepoda: Ergasilidae). **Atlântica**, v. 3, n. 1, p 47-52, 2012.

WHO. INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY (IPCS). **Biomarkers and risk assessment: concepts and principles**. Environmental Health Criteria. Geneva: World Health Organization, 1993. 155 p.

WINSTON, G. W. Oxidants and antioxidants in aquatic animals. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 100 , p. 173-176, 1991.

WINZER, K.; WINSTON, G. W.; BECKER, W.; VAN NOORDEN, C. J. F.; KOCHER, A. Sex-related responses to oxidative stress in primary cultured hepatocytes of European flounder (*Platichthys flesus* L.). **Aquatic Toxicology**, v. 52, p. 143-155, 2001.

ZANETTE, J.; M.; BIANCHINI, A. Biochemical biomarkers in gills of mangrove oyster *Crassostrea rhizophorae* from three Brazilian estuaries. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 143, p. 187-195, 2006.

ZONEAMENTO COSTEIRO DO ESTADO DO MARANHÃO. **Diagnóstico do meio físico-biótico e unidades de paisagem**. São Luís: Fundação Sôsândrade de apoio do desenvolvimento da Universidade Federal do Maranhão/ Departamento de Oceanografia e Limnologia, DEOLI/ Laboratório de Hidrobiologia – LABOHIDRO, Núcleo Geoambiental – UEMA, 2003. 2 CD-ROM.