



## **Biomarcadores histológicos em brânquias de *Sciades herzbergii* (Siluriformes, Ariidae) capturados no Complexo Estuarino de São Marcos, Maranhão**

[*Historical biomarkers in gills of Sciades herzbergii (Siluriformes, Ariidae) caught in the Estuarine Complex of São Marcos, Maranhão*]

J.S. Castro<sup>1</sup>, C.L. França<sup>2</sup>, J.F.F. Fernandes<sup>2</sup>, J.S. Silva<sup>2</sup>, R.N.F. Carvalho-Neta<sup>3</sup>, E.G. Teixeira<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Programa de pós-graduação-Universidade Nilton Lins/ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - Manaus, AM

<sup>2</sup> Programa de pós-graduação - Universidade Estadual do Maranhão - São Luís, MA

<sup>3</sup> Departamento de Química e Biologia- Universidade Estadual do Maranhão- São Luís, MA

### **RESUMO**

Neste estudo, objetivou-se avaliar a qualidade ambiental de duas áreas do complexo estuarino de São Marcos, utilizando-se as alterações branquiais em *Sciades herzbergii* como biomarcadores de contaminação aquática. Foram realizadas coletas no período de estiagem (setembro/dezembro de 2015) e no período chuvoso (março/junho de 2016). Foram capturados 40 exemplares de *S. herzbergii* em dois locais distintos do complexo estuarino: A1) Porto do Itaqui Bacanga (área potencialmente impactada); A2) Igarapé do Puca, Alcântara (área controle). Foram registradas as variáveis abióticas: salinidade, temperatura, pH e oxigênio dissolvido. No laboratório, as brânquias de cada espécime foram fixadas em formol a 10% e mantidas em álcool a 70% até a execução da técnica histológica usual. As alterações branquiais identificadas nos peixes da área potencialmente contaminada foram: deslocamento do epitélio (DE), congestão (CO), aneurisma (AN), fusão lamelar (FL), hiperplasia (HI), dilatação capilar (DC), necrose (NE) e proliferação de células epiteliais (PCE). As alterações na região controle foram: deslocamento do epitélio (DE), fusão lamelar (FL), necrose (NE) e proliferação de células epiteliais (PCE). As alterações branquiais foram mais frequentes na região portuária (84%) do que na região controle (16%). Esses resultados indicam que os peixes da área potencialmente contaminada estão apresentando respostas biológicas ao estresse local.

Palavras-chave: complexo portuário, histologia, lesões branquiais, monitoramento ambiental

### **ABSTRACT**

*This study aimed to compare an environmental quality of two areas of the estuarine complex of São Marcos using gills of changes in Sciades herzbergii as biomarkers of aquatic contamination. Samples were made during the dry season (September/ December 2015) and rainy season (March/ June 2016). They were captured 40 specimens of S. herzbergii at two different points of the estuarine complex: A1) Itaqui port (potentially contaminated area); A2) Igarapé do Puca, Alcântara (control area). Abiotic variables were recorded: salinity, temperature, pH and dissolved oxygen. In the laboratory, the gills of each species were fixed in 10% formaldehyde and kept in 70% alcohol until the usual histological technique was performed. The gill alterations identified in the fish of the potentially contaminated area were: epithelial displacement (DE), congestion (CO), aneurysm (AN), lamellar fusion (FL), hyperplasia (HI), capillary dilation (DC), necrosis and epithelial cell proliferation (PCE). The changes in the control region were: epithelial displacement (DE), lamellar fusion (FL), necrosis (NE) and epithelial cell proliferation (PCE). Gill alterations were more frequent in the port region (84%) than in the control region (16%). These results indicate that fish from the potentially contaminated area are presenting biological responses to local stress.*

*Keywords: catfish, port complex, branchial lesions, environmental monitoring*

---

Recebido em 30 de março de 2017

Aceito em 9 de junho de 2017

E-mail: jonatacastro@hotmail.com.br

## INTRODUÇÃO

As áreas portuárias do Brasil são consideradas fontes pontuais de substâncias tóxicas, cujos poluentes podem afetar os ecossistemas marinhos via transporte de sedimento e difusão dessas substâncias nos corpos aquáticos (Sousa *et al.*, 2013). Localizado no estado do Maranhão, o Porto do Itaqui é a segunda maior estrutura portuária para o transporte de cargas no Brasil e atualmente continua em desenvolvimento (Principais..., 2017). O porto fica dentro do complexo estuarino de São Marcos, que possui uma área de extensa abrangência, onde se incluem áreas protegidas e portos de alta complexidade. Os estuários são ecossistemas de elevada importância biológica e socioeconômica (Pereira Filho *et al.*, 2003). Estudos realizados com biomarcadores para avaliação de impactos antrópicos em regiões costeiras do Brasil têm sido crescentes nas regiões Norte e Nordeste do Brasil (Sousa *et al.*, 2013; Carvalho-Neta *et al.*, 2010). Os biomarcadores têm sido demonstrados como uma metodologia eficiente de avaliação dos possíveis efeitos causados pelos contaminantes aos peixes, sendo definidos como as respostas biológicas provocadas pelos poluentes presentes no ambiente aquático (Martinez *et al.*, 2004).

Nos peixes, um dos órgãos mais afetados são as brânquias, por possuírem uma grande área de

exposição para a maioria dos poluentes (Fúria, 2005). Esse órgão possui estruturas vitais para a saúde dos peixes, pois, além de ser o principal local de trocas gasosas, as brânquias são responsáveis pelos processos de osmorregulação, excreção de compostos nitrogenados, equilíbrio acidobásico, bem como desempenham a função de órgão sensorial da gustação (Garcia- Santos *et al.*, 2007).

No presente trabalho objetivou-se comparar a qualidade ambiental de duas áreas do complexo estuarino de São Marcos, utilizando-se as alterações branquiais em *Sciades herzbergii* como biomarcadores de contaminação aquática.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram capturados 40 espécimes de *S. herzbergii* em duas áreas do complexo estuarino de São Marcos (Fig. 1). A região portuária do Itaqui foi considerada uma área potencialmente contaminada pelo grande fluxo de embarcações, cargas e desembarques (A1= 2°34'57.82"S/44°21'34.92"O). O segundo ponto de coleta, o Igarapé do Puca, localizado no município de Alcântara, foi considerado uma área de referência por se constituir como parte da Área de Proteção Ambiental das Reentrâncias Maranhenses (A2= 2°24'45.88"S/44°24'17.04"O).

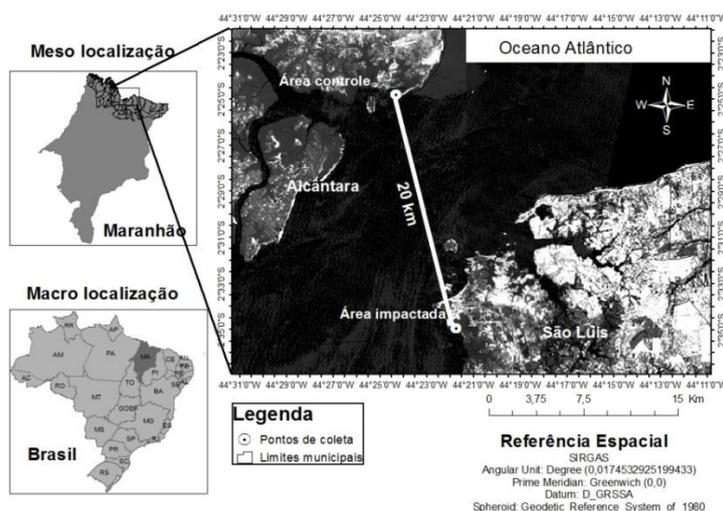


Figura 1. Região de coleta dos espécimes *S. herzbergii* no Complexo Estuarino de São Marcos. (1) Área impactada (região portuária). (2) Área controle (Igarapé do Puca).

Para eliminar vícios de interpretação dos resultados, em razão da maior diluição dos prováveis contaminantes no período de maior precipitação, as amostragens foram realizadas no período de estiagem (setembro/dezembro) de 2015 e no período chuvoso (março/junho) de 2016, de acordo com dados do Inmet (Normal..., 2016). Após a captura, os animais foram eutanasiados por hipotermia, acondicionados em sacos plásticos e colocados em caixas isotérmicas com gelo para serem transportados ao Laboratório de Biomarcadores de Organismos Aquáticos (LABOAq) da Universidade Estadual do Maranhão, de acordo com as normas de Comitê de Ética no Uso de Animais – Ceua (nº25/2016). As variáveis salinidade, temperatura, pH e oxigênio dissolvido foram determinadas por meio de sonda multiparamétrica (SX751 - SANXIN), verificadas ao mesmo tempo, no momento da captura dos peixes.

Em laboratório, foram registrados os seguintes dados biométricos de cada exemplar de *S. herzbergii*: comprimento total (Lt), comprimento padrão (Lp), comprimento furcal (Lf) em cm, peso total (Wt) em g. Depois de pesados e medidos, retiraram-se as brânquias de cada exemplar, as quais foram fixadas em formol a 10% e mantidas em álcool a 70% até o processamento histológico usual. Foi realizada a avaliação macroscópica dos estágios maturacionais das gônadas de acordo com Vazzoler (1996).

O primeiro arco branquial de cada exemplar de *S. herzbergii* foi desidratado em séries crescentes de álcoois, diafanizados em xilol, impregnados e incluídos em parafina. Cortes transversais de aproximadamente 5µm de espessura foram corados com hematoxilina e eosina (HE).

A leitura das lâminas foi realizada mensalmente após cada coleta, em microscópio óptico, utilizando-se os aumentos de 10x e 40x, e as lesões encontradas foram fotomicrografadas em fotomicroscópio AXIOSKOP – ZEIS. As alterações histológicas branquiais foram avaliadas de forma semiquantitativa, por meio do cálculo do índice de alteração histológica (IAH), adaptado de Poleksic e Mitrovic-Tutundzic (1994), baseado na severidade de cada lesão.

Para cada brânquia, foi calculado um valor do IAH por meio da fórmula:  $IAH = 1 \times \Sigma I + 10 \times \Sigma II + 100 \times \Sigma III$ , em que I, II e III correspondem às fases progressivas de danos nos tecidos: I, que não comprometem o funcionamento do órgão; II, mais severas e que prejudicam o funcionamento normal do órgão; e III, muito severas e irreversíveis. O valor médio do IAH foi dividido em cinco categorias: 0-10 = funcionamento normal do tecido; 11-20 = danificação leve para moderada do tecido; 21-50 = modificação moderada para severa do tecido; 51-100 = modificação severa do tecido; maior que 100 = danificação irreparável do tecido.

Os dados das alterações branquiais foram apresentados como média e desvio-padrão e submetidos ao teste de Student (*software* Statistica 7), uma vez que, por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov, os pressupostos de normalidade dos dados foram atendidos.

## RESULTADOS

Os parâmetros físico-químicos das áreas amostradas são apresentados na Tab. 1. Os valores das variáveis salinidade, oxigênio dissolvido, pH e temperatura da água, coletados nas duas áreas do Complexo Estuarino de São Marcos, foram uniformes para ambas as áreas nos dois períodos analisados.

Os espécimes de *Sciades herzbergii* capturados na região portuária apresentaram características morfométricas de peso e comprimento superiores aos capturados no Igarapé do Puca para o período de estiagem. Os exemplares capturados no período chuvoso foram maiores e mais pesados na área de referência, como demonstrado na Tab. 2.

A avaliação macroscópica das gônadas de todos os peixes analisados neste trabalho revelou que 54% dos exemplares coletados eram machos, e 46% fêmeas. A região portuária apresentou a maior quantidade de fêmeas (67%) em relação ao Igarapé do Puca, onde o predomínio foi de peixes machos (65%), mas sem diferença significativa ( $P > 0,05$ ). As fêmeas apresentaram diferentes estádios de maturação gonadal em ambas as regiões. Houve predomínio de exemplares machos imaturos na região portuária, enquanto na região controle foram identificados diferentes estádios maturacionais (Tab. 3).

**Biomarcadores histológicos...**

Tabela 1. Dados abióticos coletados nos períodos de estiagem e chuvoso nos dois pontos de coleta da espécie *Sciades herzbergii* no Complexo Estuarino de São Marcos, São Luís-MA

Parâmetros	Estiagem		Chuvoso		Valores recomendados
	A1	A2	A1	A2	
Salinidade	38,3	33,7	14,3	12,4	≥ 30‰
O <sub>2</sub> dissolvido (ppm)	10,2	8,6	7,8	8,1	>6 mg/L <sup>b</sup>
pH	8,08	8,02	7,95	7,89	6,5-8,5 <sup>b</sup>
Temperatura (°C)	28,5	29,5	26,0	27,0	28 - 32°C <sup>b</sup>

ppm=partes por milhão; mg: miligramas; L= litros; b= Resolução Conama nº357/2005 e nº430/2011.

Tabela 2. Dados morfométricos (média ± desvio-padrão) de espécimes de *Sciades herzbergii* coletados em dois pontos do Complexo Estuarino de São Marcos, São Luís-MA, no período de estiagem e no período chuvoso

Variável	Período de estiagem		Período chuvoso	
	A1	A2	A1	A2
LT (cm)	34,00±1,41	18,04±1,76	25,1±4,59	29,6±3,73
LP (cm)	24,45±2,89	15,01±1,63	20,46±3,63	28,25±3,87
LF (cm)	27,00±0,98	15,58±1,70	21,42±4,07	26,72±4,07
WT (g)	157,79±10,50	137,71±13,21	111,64±65,11	150,72±88,81

(Lt): comprimento total; (LP): comprimento padrão; (LF): comprimento furcal; e (WT): peso total.

Tabela 3. Estágios de maturação gonadal de *S. herzbergii* masculinos e femininos coletados no Complexo Estuarino de São Marcos, Maranhão

EG	A1 (Região portuária)		A2 (Igarapé do Puca)	
	Fêmeas	Machos	Fêmeas	Machos
EG1	0%	100%	50%	73%
EG2	33%	0%	33%	9%
EG3	50%	0%	17%	18%
EG4	17%	0%	0%	0%

A análise histológica (Fig. 2) realizada nas brânquias dos exemplares de *S. herzbergii* demonstrou que, no período de estiagem (67%), os peixes apresentaram maior frequência de lesões do que no período chuvoso (33%). As alterações branquiais encontradas nos peixes na área potencialmente contaminada no período de estiagem foram: deslocamento do epitélio (52%), congestão (3%), aneurisma (1%), fusão lamelar (9%), hiperplasia (20%), dilatação capilar (8%), necrose (3%) e proliferação de células epiteliais (4%). Já na área controle, as alterações branquiais dos peixes no período de estiagem foram: deslocamento do epitélio (90%), fusão lamelar (7%), congestão (1%) e dilatação capilar (2%). As lesões encontradas nos peixes da região portuária, com suas respectivas frequências, no período chuvoso foram: deslocamento do epitélio (89%), fusão lamelar (7%), congestão (1%) e dilatação capilar (3%). Na área controle, as lesões encontradas nos peixes durante o mesmo

período chuvoso foram: deslocamento do epitélio (81%) e fusão lamelar (19%).

A Fig. 3 apresenta a frequência total das alterações branquiais observadas nos peixes das duas áreas amostradas. A região portuária apresentou os peixes com o maior número de alterações, enquanto o Igarapé do Puca apresentou um número significativamente inferior ( $P<0,05$ ).

A Fig. 4 apresenta o índice das alterações histológicas (IAH) observado em brânquias de *S. herzbergii* capturados nos dois locais em estudo no período de estiagem. De um modo geral, o IAH mostrou que, na área controle (Igarapé do Puca), a maioria dos peixes apresentava brânquias com um padrão normal, enquanto os peixes da região impactada (Porto do Itaqui) apresentavam brânquias com alteração moderada.

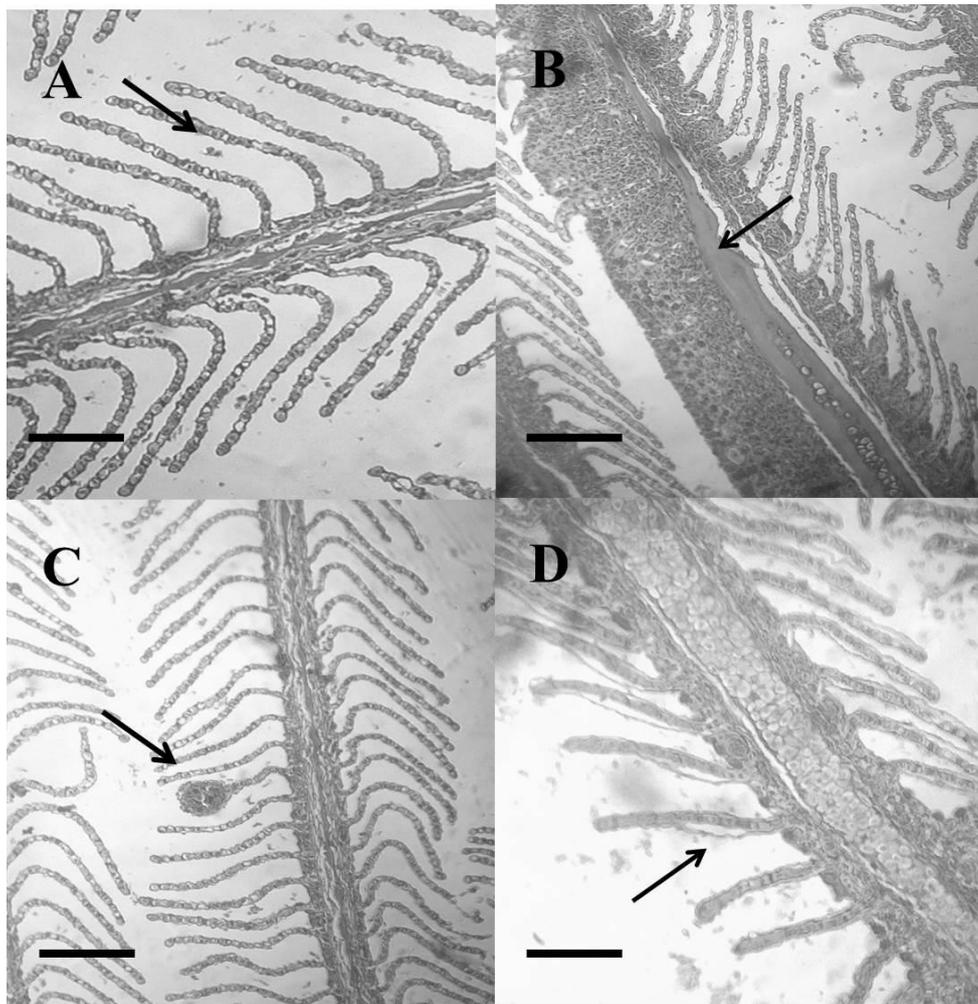


Figura 2. Morfologia do tecido branquial de *S. herzbergii*. A- tecido normal (seta); B- fusão das lamelas (seta); C- congestão (seta); D- deslocamento do epitélio (seta). Escala= 50µm.

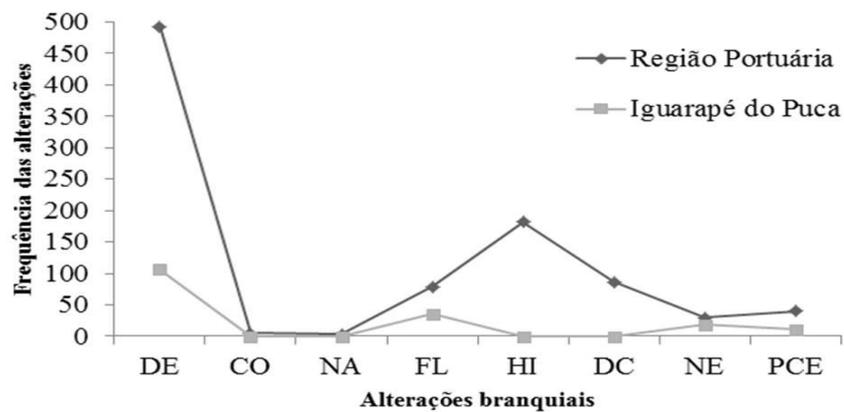


Figura 3. Frequência das alterações histológicas em brânquias de *S. herzbergii* de duas áreas do Complexo Estuarino de São Marcos. DE: deslocamento do epitélio; CO: congestão; NA: aneurisma; FL: fusão lamelar; HI: hiperplasia; DC: dilatação capilar; NE: necrose; PCE: proliferação de células epiteliais.

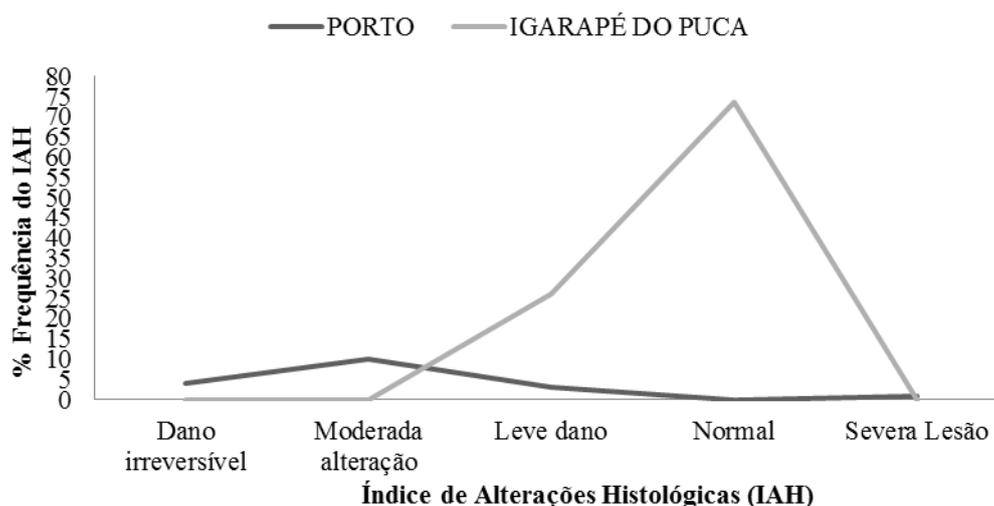


Figura 4. Índice de alterações histológicas em brânquias de *S. herzbergii* de duas áreas do Complexo Estuarino de São Marcos (Poleksic e Mitrovic-Tutundzic, 1994)

## DISCUSSÃO

A maior frequência de alterações encontradas nas brânquias de *Sciades herzbergii* na região portuária de São Luís indica que os peixes estão sofrendo com a contaminação desse ambiente. As lesões branquiais encontradas para *S. herzbergii* capturados no Complexo Estuarino de São Marcos também foram encontradas por outros autores para peixes de ambientes contaminados (Pereira *et al.*, 2014; Santos *et al.*, 2014; Carvalho- Neta *et al.*, 2014). De acordo com Melo (2012), lesões como levantamento do epitélio, fusão lamelar e hiperplasia surgem como tentativas de defesa das brânquias quando expostas aos poluentes. Essas lesões dificultam o processo das trocas gasosas, comprometendo a respiração e a sobrevivência dos peixes.

O índice de alterações histológicas (IAH) calculado para os bagres analisados neste trabalho indicou que a área controle apresentou peixes com brânquias com maior grau de normalidade em relação aos peixes da área potencialmente impactada e, embora tenha apresentado peixes com lesões branquiais, estas não apresentaram danos irreversíveis. Em brânquias com alterações moderadas a leves, é possível a regeneração da estrutura e a recuperação de suas funções, porém essas alterações podem avançar para outras mais graves mediante ausência de restabelecimento do ambiente e exposição constante dos peixes aos

contaminantes (Poleksic e Mitrovic-Tutundzic, 1994).

A contaminação do ambiente por resíduos orgânicos pode acarretar doenças infecciosas nos peixes, pois este ambiente encontra-se mais propício à presença de bactérias com elevado potencial patogênico (Moraes e Moraes, 2009). Resultados encontrados neste trabalho corroboram os de Sousa *et al.* (2013), quando avaliaram as brânquias das espécies *Sciades herzbergii* e *Bagre bagre* em dois locais da Baía de São Marcos (região portuária e Ilha dos Caranguejos) e verificaram a presença das seguintes alterações branquiais: estreitamento lamelar, telangiectasia, fusão das lamelas secundárias e descolamento do epitélio das lamelas secundárias.

As regiões portuárias do Brasil apresentam diversas fontes pontuais de substâncias tóxicas, as quais podem afetar diretamente os ecossistemas marinhos e os organismos presentes via transporte de sedimento e difusão dessas substâncias nos corpos aquáticos. Nesse sentido, o monitoramento ambiental dessas regiões é de extrema importância (Oliveira e Madureira, 2009).

A avaliação macroscópica das gônadas de *S. herzbergii* revelou que houve maior frequência de fêmeas no período de estiagem na região portuária. Esse resultado se diferencia de dados

encontrados por Carvalho-Neta; Abreu-Silva (2013), em que os machos foram encontrados em maior frequência para o mesmo período. Esses valores podem estar relacionados a fatores ambientais, uma vez que, no período de estiagem, os níveis de salinidade, oxigênio dissolvido e temperatura foram mais elevados nessa região. Fatores ambientais podem ocasionar mudança de temperatura, oxigenação, disponibilidade de alimento e acabam interferindo diretamente nas fases de reprodução de peixes (Le François e Blier, 2003). Temperatura da água, fotoperíodo, precipitação pluviométrica, pH, qualidade da água e quantidade de alimento disponível no meio podem interferir na maturação gonadal, na gametogênese e na vitelogênese dos peixes (Bayarri et al., 2004) e, de acordo com Kuo et al. (1974), a importância relativa de cada parâmetro é alterada nos diferentes teleósteos.

Os dados abióticos encontrados estão de acordo com a Resolução Conama para águas salgadas (Brasil, 2011). A região portuária apresentou valores de salinidade e oxigênio dissolvido superiores para ambas as estações, semelhantes aos encontrados por alguns autores (Carvalho-Neta et al., 2012; Sousa et al., 2013) para a mesma região.

A elevada salinidade nas regiões estudadas pode ser justificada pela baixa precipitação, uma vez que se trata do período de estiagem. Miranda et al. (2012) e Riley e Chester (1989) afirmaram que a salinidade é uma propriedade físico-química que caracteriza a concentração dos sais dissolvidos na água do mar e o índice pluviométrico e a evaporação regulam esse fator abiótico. Pereira Filho et al. (2003), em estudo realizado em um porto no Sul do Brasil, encontraram valores de alta salinidade e discutiram que a influência da descarga fluvial sobre a salinidade é bastante nítida. Em períodos de alta descarga fluvial, ocorre o predomínio de água doce no estuário, e a salinidade diminui.

Em relação ao oxigênio dissolvido na água, foi registrado maior valor médio para a região portuária. De acordo com Lozano (1978), os principais elementos que estão associados à concentração de oxigênio dissolvido na água são os seguintes: atividade biológica, processo de mistura em função do movimento das águas, temperatura e salinidade. O mesmo autor afirma

que é de grande importância o conhecimento do pH da água do mar e de sua relação com a biologia marinha, já que o pH apresenta-se como regulador de outros parâmetros.

Os dados biométricos relacionados a comprimento dos peixes no período de estiagem foram maiores na região portuária, mas não apresentaram diferenças significativas nas duas áreas analisadas ( $P > 0,05$ ), diferenciando-se dos resultados encontrados por Sousa et al. (2013) para a mesma espécie na região portuária. Os exemplares coletados no período chuvoso foram maiores e mais pesados na área controle. Esses resultados corroboram os de Carvalho-Neta e Abreu-Silva (2013), que relataram que *S. herzbergii* eram maiores e mais pesados durante a estação chuvosa em estudo realizado na Ilha dos Caranguejos (uma área utilizada como controle em relação à região portuária). Observou-se, ainda, que os bagres capturados estão cada vez menores e menos pesados, da mesma forma como foi indicado em trabalhos realizados por Ribeiro e Carvalho-Neta (2007) e Ribeiro et al. (2012), que notaram uma diminuição do tamanho e do peso nos exemplares dessa espécie capturados nos estuários maranhenses.

De acordo com Woo et al. (1993), os organismos que habitam regiões contaminadas são submetidos a concentrações elevadas de poluentes, que exercem influência fisiológica nesses organismos e, assim, comprometem as etapas do processo reprodutivo, induzindo-os a reservar suas energias para o processo de detoxificação (Souza et al., 2013). O grande fluxo de embarcações na região portuária, provavelmente, tem provocado o aumento de substâncias tóxicas e pode estar induzindo as lesões branquiais identificadas nos peixes dessa região.

## CONCLUSÕES

A avaliação histológica nas brânquias de *Sciades herzbergii* sugere uma melhor qualidade ambiental do Igarapé do Puca, em Alcântara. A elevada frequência de alterações e o grau de severidade nos exemplares da região portuária indicam que esses organismos estão demonstrando respostas biológicas ao estresse local. No período de estiagem, os peixes apresentaram maior frequência de lesões do que

no período chuvoso. O Igarapé do Puca apresentou um IAH indicativo de maior normalidade das brânquias quando comparado com os peixes da região potencialmente contaminada analisada, demonstrando-se como uma área controle que pode ser utilizada em trabalhos com biomarcadores no Maranhão. As alterações nas brânquias de *S. herzbergii* mostraram-se como biomarcadores adequados para o diagnóstico de ambientes impactados no Complexo Estuarino de São Marcos.

#### AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Científico do Maranhão (Fapema), pelo auxílio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes, pela bolsa concedida; ao Laboratório de Pesca e Ecologia Aquática (LabPEA) e ao Laboratório de Biomarcadores em Organismos Aquáticos (LABOAq), pelo suporte físico para as análises dos peixes.

#### REFERÊNCIAS

- BAYARRI, M.J.; RODRÍGUEZ, L.; ZANUY, S. *et al.* Effect of photoperiod manipulation on formatted: Spanish (Spain-Modern Sort the daily rhythms of melatonin and reproductive hormones in caged European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Gen. Comp. Endocrinol.*, v.136, p.72-81, 2004.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.357. de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 18 mar. 2005. p.58-63.
- CARVALHO-NETA, R.N.F.; ABREU-SILVA, A.L. Glutathione S-Transferase as biomarker in *Sciades herzbergii* (Ariidae, Siluriformes) for environmental monitoring: the case study of São Marcos Bay, Maranhão, Brazil. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, v.41, p.217-225, 2013.
- 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). *Braz. J. Oceanogr.*, v.58, p.11-17, 2010.
- CARVALHO-NETA, R.N.F.; TORRES, J.R.A.R.; ABREU-SILVA, A.L. Biomarkers in catfish *Sciades herzbergii* (Teleostei: Ariidae) from polluted and non-polluted areas (São Marcos' Bay, Northeastern Brazil). *Appl. Biochem. Biotechnol.*, v.166, p.1-12, 2012.
- CARVALHO-NETA, R.N.F.; TORRES JUNIOR, A.R.; SILVA, D.; CORTEZ, C.M.A simple mathematical model based on biomarkers in stress-resistant catfish species, *sciades herzbergii* (Pisces, ariidae), in São Marcos Bay, Brazil. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, v.174, p.2380-2391, 2014
- FÚRIA, R.R. *Efeito da fração solúvel em água do mar do petróleo e do diesel sobre a morfologia das brânquias de Trachinotus sp (Perciformes: Carangidae)*. 2005. [136f]. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, SP.
- GARCIA-SANTOS, S.; MONTEIRO, S.M.; CARRÓIA, J.; FONTAINHAS-FERNANDES, A. Alterações histológicas em brânquias de tilápia nilótica *Oreochromis niloticus* causadas pelo cádmio. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.59, p.376-381, 2007.
- KUO, C.M.; NASH, C.E.; SHEHADEH, Z.H. The effects of temperature and photoperiod on ovarian development in captive grey mullet (*Mugil cephalus* L.). *Aquaculture*, v.3, p.25-43, 1974.
- LE FRANÇOIS, N.R.; BLIER, P.U. Reproductive events and associated reduction in the seawater adaptability of brook charr (*Salvelinus fontinalis*): evaluation of gill metabolic adjustments. *Aquat. Living Resour.*, v.16, p.69-76, 2003.
- LOZANO, C. *Oceaografia, biologia marina y pesca*. Madri: Paraninfo, 1978. 445p.
- MARTINEZ, C.B.R.; NAGAE, M.Y.; ZAIA, C.T.; ZAIA, D.A. Acute morphological and physiological effects of lead in the neotropical fish *Prochilodus lineatus*. *Braz. J. Biol.*, v.64, p.797-807, 2004.

- MELO, M.R.S. *Alterações histopatológicas em brânquias e fígado de peixes como biomarcadores de contaminação aquática no Rio Bacanga, São Luís-MA*. São Luís: FAPEMA, 2012. 29p. (Relatório final iniciação científica).
- MIRANDA, L.B.; CASTRO, B.M.; KJERFVE, B. *Princípios da oceanografia física de estuários*. São Paulo: USP, 414p. 2002.
- MORAES, F.R.; MORAES, J.R.E. Nutracêuticos na inflamação e cicatrização de peixes de interesse zootécnico. In: TAVARES-DIAS, M. *Manejo e sanidade de peixes em cultivo*. Macapá: Embrapa, 2009. p.625-723.
- NORMAL Climatológica do Brasil 1961-1990. Brasília: INMET, 2016. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acessado em: 10 set. 2016.
- OLIVEIRA, C.R.; MADUREIRA, L.A.S. Distribuição de hopanos e avaliação da contaminação por derivados de petróleo em sedimentos superficiais na costa portuária de Santa Catarina, Brasil. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 32., 2009, Fortaleza. *Anais...*Fortaleza: [SBQ], 2009. p.97. (Resumo).
- PEREIRA FILHO, J.; SPILLERE, L.C.; SCHETTINI, C.A.F. Dinâmica de nutrientes na região portuária do estuário do Rio Itajaí-Açu, SC. *Atlântica*, v.25, p.11-20, 2003.
- PEREIRA, D.P.; SANTOS, D.M.S.; CARVALHO NETA, A.V. *et al.* Alterações morfológicas em brânquias de *Oreochromis niloticus* (Pisces, Cichlidae) como biomarcadores de poluição aquática na Laguna da Jansen, São Luís, MA (Brasil). *Biosci. J.*, Uberlandia, v.30, p.1213-1221, 2014.
- 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.
- PRINCIPAIS portos do Brasil. Rio de Janeiro: Antaq, 2016. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br>>. Acessado em: 20 abr. 2017
- RIBEIRO, E.B.; ALMEIDA, Z.S.; CARVALHO NETA, R.N.F. Hábito alimentar do bagre *Sciades herzbergii* (Siluriformes, Ariidae) da Ilha dos Caranguejos, Maranhão, Brasil. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.64, p.1761-1765, 2012.
- RIBEIRO, E.B.; CARVALHO- NETA, R.N.F. Ecologia trófica de *Sciades herzbergii* (Siluriformes, Ariidae) da Ilha dos Caranguejos-MA. CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8., 2007, Caxambu. *Anais...* Caxambu: [SEB], 2007.
- RILEY, J.P.; CHESTER, R. *Introducción a la química marina*. México: A.G.T, 1989. 457p.
- SANTOS, D.M.S.; MELO, M.R.S.; MENDES, D.C.S. *et al.* Histological changes in gills of two fish species as indicators of water quality in Jansen Lagoon (São Luís, Maranhão State, Brazil). *Int. J. Environ. Res. Public Health*, v.11, p.12927-12937, 2014
- SOUSA, D.B.S.; ALMEIDA, Z.S.; CARVALHO-NETA, R.N.F. Biomarcadores histológicos em duas espécies de bagres estuarinos da Costa Maranhense, Brasil. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.65, p.369-376, 2013.
- VAZZOLER, A.E.M. *Biologia e reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática*. Maringá: Eduem, 1996. 169p.
- WOO, P.T.K.; SIN, Y.M.; WONG, M.K. The Effects of short-term acute cadmium exposure on blue tilapia, *Oreochromis aureus*. *Environ. Biol. Fish.*, v.37, p.67, 1993.