

Biomarcadores histológicos em brânquias de peixes na avaliação da contaminação ambiental do rio Mearim, nordeste brasileiro**Histological biomarkers in fish gills in the assessment of environmental contamination of the Mearim river, northeastern Brazil**

DOI:10.34117/bjdv6n8-175

Recebimento dos originais:08/07/2020

Aceitação para publicação:13/08/2020

Natália Jovita Pereira

Mestre em Recursos Aquáticos e Pesca (PPGRAP)
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) - Campus Paulo VI
Endereço: Avenida Lourenço Vieira da Silva, S/N, Tirirical, São Luís, Maranhão
E-mail: natalia.jovita@hotmail.com

Margareth Marques dos Santos

Graduada em Ciências Biológicas
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) - Campus Paulo VI
Endereço: Avenida Lourenço Vieira da Silva, S/N, Tirirical, São Luís, Maranhão
E-mail: margarethms23@gmail.com

Jakeline Priscila Lima da Silva Maião

Graduada em Ciências Naturais com habilitação em Biologia
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) - Campus Bacabal
Endereço: Rua Teixeira de Freitas, Bacabal, Maranhão
E-mail: jakelinepriscila@gmail.com

Jonas Silva de Pinho Campos

Graduado em Ciências Biológicas
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) - Campus Paulo VI
Endereço: Avenida Lourenço Vieira da Silva, S/N, Tirirical, São Luís, Maranhão
E-mail: jonas_tenaz@hotmail.com

Nayara Duarte da Silva

Graduada em Ciências Biológicas
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) - Campus Paulo VI
Endereço: Avenida Lourenço Vieira da Silva, S/N, Tirirical, São Luís, Maranhão
E-mail: nayduarte_nd@hotmail.com

Denise Carla da Silva Mendes

Mestre em Recursos Aquáticos e Pesca (PPGRAP)
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) - Campus Paulo VI
Endereço: Avenida Lourenço Vieira da Silva, S/N, Tirirical, São Luís, Maranhão
E-mail: denisemendess2@yahoo.com.br

Tiago de Moraes Lenz

Doutor em Sistemas Costeiros e Oceânico
Instituto Federal de Alagoas (IFAL) - Campus Penedo, Alagoas

Endereço: Rod. Eng. Joaquim Gonçalves, S/N, Dom Constantino, Penedo, Alagoas
E-mail: tiagogpesca@hotmail.com

Débora Martins Silva Santos

Doutora em Medicina Veterinária

Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Programa de Mestrado em Recursos Aquáticos e Pesca (PPGRAP) - Campus Paulo VI

Endereço: Avenida Lourenço Vieira da Silva, S/N, Tirirical, São Luís, Maranhão
E-mail: debsan70@gmail.com

RESUMO

Esse estudo objetivou avaliar a contaminação ambiental do rio Mearim, cidade de Bacabal, Maranhão, nordeste do Brasil, a partir de biomarcadores histológicos em brânquias de *Psectrogaster amazonica* e de análises da água. Foram coletados sessenta espécimes de *P. amazonica* e amostras de água no rio Mearim em quatro coletas de 2013 a 2015. As alterações histológicas foram classificadas em estágios I, II, III para o cálculo do Índice de Alteração Histológica. As amostras de água foram analisadas segundo parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Foi realizada a análise de variância One-Way e *posteriori* de Tukey ($p \leq 0,05$) para verificar diferenças estatísticas entre os períodos de estiagem e chuvoso. Os Índices de Alteração Histológica foram maiores estatisticamente nas coletas do período chuvoso, na qual o escoamento das águas superficiais transporta mais contaminantes para o rio Mearim. As lesões demonstraram efeitos similares entre os estágios I, II e III de severidade, indicando progressões das severidades branquiais. Os principais contaminantes do rio Mearim são dejetos fecais, que foram encontrados em altas densidades nas análises microbiológicas, e metais pesados, de acordo com estudos anteriores. As lesões histológicas observadas podem ser efeitos de exposição desses contaminantes. Os biomarcadores histológicos nas brânquias de *P. amazonica* e as análises da água do rio Mearim, indicam o comprometimento da sanidade dos peixes.

Palavras-chave: Contaminantes, Lesões histológicas, *Psectrogaster amazonica*.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the environmental contamination of the Mearim river, city of Bacabal, Maranhão, northeastern Brazil, from histological biomarkers in *Psectrogaster amazonica* gills and from water analysis. Sixty specimens of *P. amazonica* and water samples were collected from the Mearim river in four collections from 2013 to 2015. Histological changes were classified in stages I, II, III for the calculation of the Histological Change Index. The water samples were analyzed according to physical-chemical and microbiological parameters. The One-way analysis of variance and *posteriori* Tukey ($p \leq 0.05$) were performed to verify statistical differences between the dry and rainy periods. The Histological Alteration Indexes were statistically higher in the rainy season collections, in which the runoff of surface water transports more contaminants to the Mearim river. The lesions showed similar effects between stages I, II and III of severity, indicating progressions of branchial severities. The main contaminants of the Mearim river are fecal waste, which were found in high densities in microbiologic analysis, and heavy metals, according to previous studies. The observed histological lesions can be the effects of exposure of these contaminants. The histological biomarkers in the gills of *P. amazonica* and the analysis of the water from the Mearim river, indicate the compromised fish health.

Keywords: Contaminants, Histological lesions, *Psectrogaster amazonica*.

1 INTRODUÇÃO

Os ambientes de água doce no planeta estão sob constante contaminação, o que causa a degradação e queda da qualidade da água (ALVES et al., 2018; BARNI et al., 2016; EDOKPAYI et al., 2017; LIU; DIAMOND, 2005). O Brasil possui grandes rios e bacias hidrográficas que estão em estado de degradação, principalmente em decorrência da ausência de fiscalização das políticas públicas de conservação dos recursos hídricos (CADONÁ et al., 2016).

As bacias hidrográficas do Estado do Maranhão, região tropical do nordeste brasileiro, ocupam uma área territorial de 325.650 km² (GEPLAN, 2002), apresentando ampla importância social, ecológica e econômica. A bacia hidrográfica do rio Mearim ocupa uma considerável área da região centro-norte do Maranhão, compreendendo uma área de 99.058,68 km², constituindo-se como a maior bacia fluvial inteiramente maranhense, abrangendo 83 cidades do estado (IBGE, 2020). O rio Mearim sofre com efeitos do crescimento demográfico desordenado, aumento da urbanização, processo de erosão e assoreamento, contaminação aquática por efluentes domésticos (CUNHA; SILVA, 2002; MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2012) e metais pesados (SILVA et al., 2014), cujo efeitos ainda não foram inteiramente dimensionados.

O gerenciamento dos ecossistemas aquáticos ocorre a partir da verificação da situação da qualidade da água envolvendo fatores bióticos e abióticos (SILVEIRA, 2004). O biomonitoramento das águas naturais é indispensável para a prevenção da degradação de ecossistemas aquáticos e para a conservação da ictiofauna (MASESE et al., 2013; NASCIMENTO et al., 2020). Os peixes são considerados indicadores biológicos, pois respondem a contaminação aquática através de biomarcadores (VAN DER OOST et al. 2003).

Os biomarcadores são indicadores ou eventos sinalizadores nos organismos biológicos que demonstram a exposição à contaminação aquática (GUPTA, 2014). Os biomarcadores podem ser detectados precocemente, permitindo a adoção de medidas preventivas e reversíveis de degradação ambiental (SOGORB et al., 2014).

Alterações histológicas como biomarcadores de contaminação aquática em peixes são amplamente utilizadas em avaliações ambientais Camargo e Martinez (2007), Paulino et al. (2012), Barišić et al. (2015), Saraiva et al. (2015), Kaur et al. (2015), Barni et al. (2016), Capaldo et al. (2019), sendo inclusive utilizado como ferramenta de avaliação ambiental em ecossistemas de água doce do Maranhão (CARDOSO et al., 2018; CASTRO et al., 2019; SOUSA et al., 2020). Os biomarcadores histológicos proporcionam a detecção rápida dos efeitos tóxicos diretos e indiretos dos contaminantes aos peixes (REDDY; RAWAT, 2013) diante da análise de órgãos-alvo específicos diretamente afetados (GERNHOFER et al., 2001). As brânquias refletem as condições

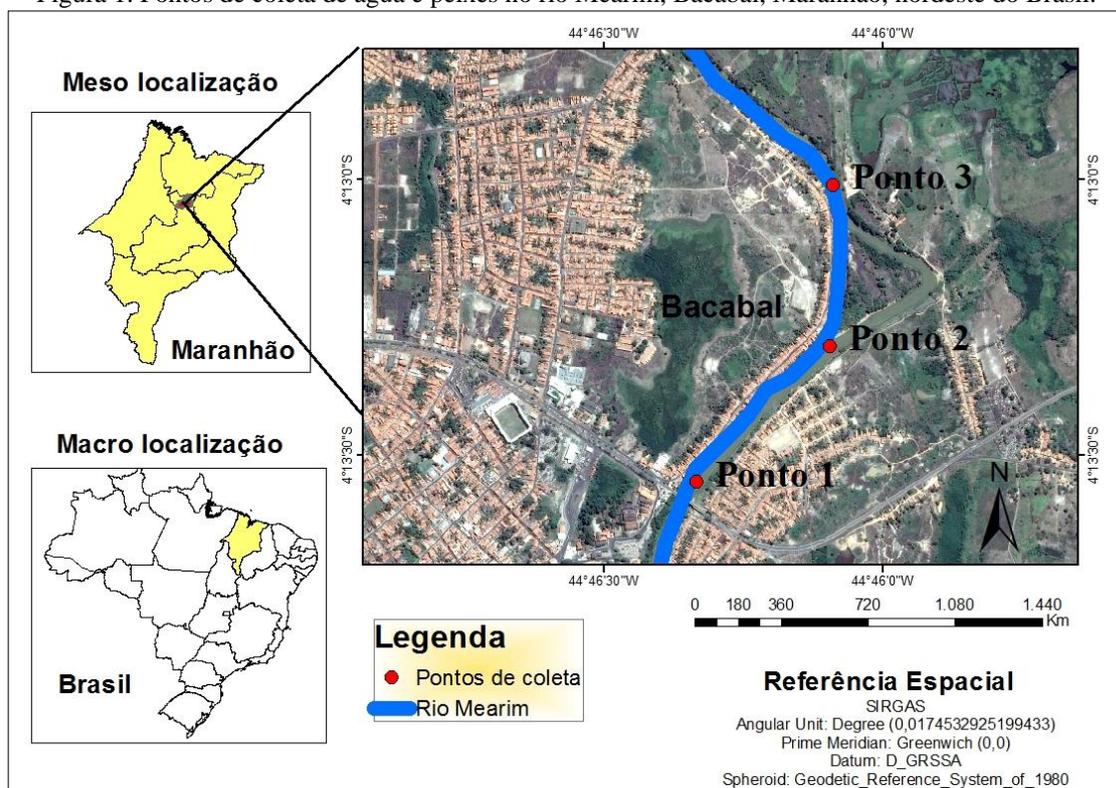
ambientais dos ecossistemas aquáticos devido ao seu contato direto e permanente com os contaminantes na água (BARIŠIĆ et al., 2015). Esses órgãos fornecem uma ampla área superficial para o fluxo de oxigênio, gás carbônico, eletrólitos, água, amônia e íons hidrogênio entre o sangue do peixe e o meio externo (WINKALER et al., 2001), respondendo sensivelmente de forma aguda a contaminantes ambientais, mesmo em baixas concentrações (MONTEIRO et al., 2008).

Diante da importância social, ecológica e econômica do rio Mearim e em razão da pressão antrópica à qual vem sofrendo suas águas, o objetivo deste estudo foi avaliar a contaminação ambiental do rio Mearim a partir de biomarcadores histológicos em brânquias de espécie nativa de peixe.

2 METODOLOGIA

Foram realizadas coletas de água e peixes no rio Mearim, na cidade de Bacabal, Maranhão, nordeste do Brasil. Bacabal é uma das maiores cidades maranhenses abastecidas pelo rio Mearim. As coletas ocorreram durante os anos de 2013 a 2015, em três pontos distintos, para a realização do diagnóstico de contaminação ambiental (Figura 1):

Figura 1. Pontos de coleta de água e peixes no rio Mearim, Bacabal, Maranhão, nordeste do Brasil.



As coletas foram realizadas compreendendo os dois períodos sazonais característicos do estado do Maranhão, sendo duas coletas no período de estiagem (outubro de 2013 e agosto de 2015) e duas no período chuvoso (março de 2014 e maio de 2015), em que foram capturados 15 peixes por coleta, totalizando 60 espécimes durante todo o estudo.

Os peixes coletados eram todos da espécie *Psectrogaster amazonica* (Eigenmann & Eigenmann, 1889), abundante na região do rio Mearim (SOARES, 2013) e que apresenta uma ampla distribuição e importância comercial. A captura dos peixes ocorreu com o uso de rede tarrafa através da pesca artesanal, em que todos os procedimentos e as normas de conduta foram aprovados pelo Comitê de Ética e Experimentação Animal da Universidade Estadual do Maranhão (n°12/2016).

Os espécimes de *P. amazonica* tiveram suas brânquias removidas e fixadas em solução de formaldeído a 10% por 24 horas. Após a fixação, o segundo arco branquial direito foi descalcificado em ácido nítrico a 10% e posteriormente seguiu para as etapas de desidratação em banho de alcoóis, diafanização em xilol, impregnação e inclusão em parafina. Os blocos de parafina foram seccionados em micrótomo na espessura de 5µm e os cortes foram sobrepostos em lâminas histológicas que seguiram para a coloração por Hematoxilina e Eosina (HE).

A leitura das lâminas histológicas foi realizada em microscópio Zeiss com o programa Leica Application Suite (LAS EZ) versão 3.3.0 (Copyright© 2016), em que as lesões branquiais encontradas foram avaliadas pelo cálculo do Índice de Alteração Histopatológica (IAH) de Poleksic e Mitrovic – Tutundzic (1994), baseado na severidade de cada lesão.

As alterações foram classificadas em fases progressivas de danos nos tecidos em alterações de estágio I, II, III. Para cada peixe foi calculado o valor de IAH através da fórmula: $IAH = 1 \times \sum I + 10 \times \sum II + 100 \times \sum III$, sendo que I, II e III correspondem respectivamente ao número de alterações de estágio I, II e III. Posteriormente classificou-se o valor médio de IAH dos espécimes em cinco categorias, de acordo com Poleksic e Mitrovic – Tutundzic (1994): 0 a 10 – funcionamento normal do tecido branquial; 11 a 20 – danificação leve para moderada do tecido branquial; 21 a 50 – modificação moderada para severa do tecido branquial; 51 a 100 – modificação severa do tecido branquial; e acima de 100 danificação irreparável do tecido branquial.

Na análise dos parâmetros físico-químicos, foram aferidos *in situ*, através de multiparâmetro, oxigênio dissolvido, temperatura, pH e turbidez, esta determinada por turbidímetro. Para os parâmetros microbiológicos da água foi considerado o número mais provável (NMP) de coliformes termotolerantes, estimado pelo teste de diluição múltipla, segundo Apha (2005).

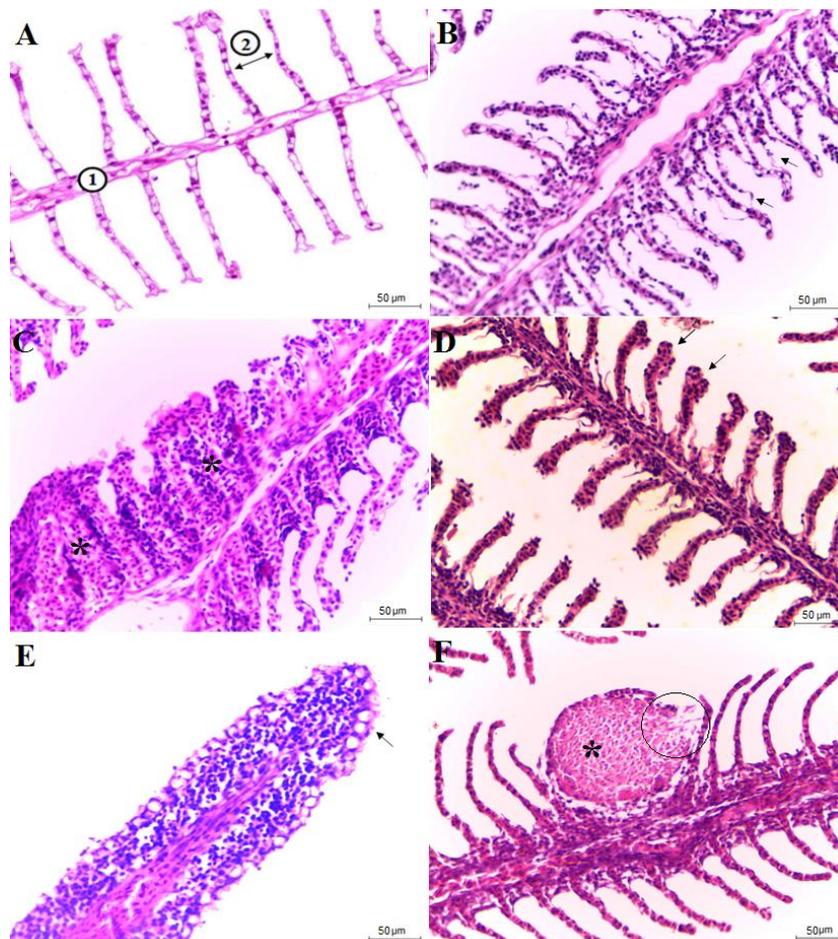
Todos os dados foram submetidos aos Testes de Normalidade Shapiro-Wilk e de Homogeneidade Levene. Posteriormente foi realizada a análise de variância One-Way (ANOVA

One-Way) e *posteriori* de Tukey ($p \leq 0,05$) para verificar se houveram diferenças estatísticas entre as coletas por períodos sazonais para os dados físico-químicos e microbiológicos da água e os Índices de Alteração Histológica branquial. Para avaliar a relação entre as lesões histológicas em brânquias foi aplicada a Análise de Componentes Principais. Todas as análises estatísticas mencionadas foram realizadas no Statistica 7.1.30.0 (StatSoft, Inc. 2005).

3 RESULTADOS

As principais lesões histológicas encontradas nas brânquias de *Psectrogaster amazonica* coletados no rio Mearim foram: levantamento do epitélio respiratório, hiperplasia epitelial, congestão dos vasos sanguíneos, fusão incompleta de várias lamelas, hiperplasia e hipertrofia das células de muco e aneurisma lamelar (Figura 2):

Figura 2. Fotomicrografias de brânquias de *Psectrogaster amazonica* coletados no rio Mearim, Bacabal, Maranhão, nordeste do Brasil. Em A filamento branquial sem alteração, em que em 1 temos a lamela primária e em 2 lamelas secundárias. Em B levantamento do epitélio respiratório (setas); em C hiperplasia do epitélio lamelar causando fusão das lamelas secundárias; em D congestões dos vasos sanguíneos nos ápices das lamelas secundárias; em E hiperplasia e hipertrofia de células de muco; e F aneurisma (*) e necrose e degeneração celular (círculo). Aumento 400X. Coloração em HE.



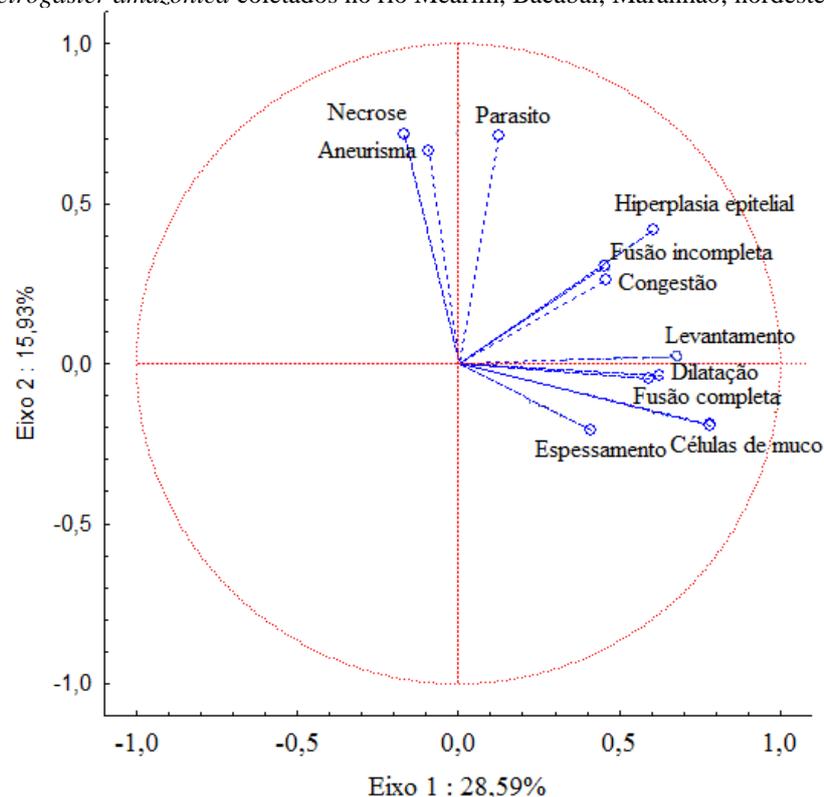
Os percentuais das lesões branquiais demonstram que as alterações de estágio I foram as mais constantes e que no período chuvoso as frequências de lesões foram mais altas (Tabela 1):

Tabela 1. Percentuais de lesões histológicas em brânquias de *Psectrogaster amazonica* por coleta e período sazonal do rio Mearim, Bacabal, Maranhão, nordeste do Brasil.

Lesões histológicas em brânquias	Período de estiagem (%)		Período chuvoso (%)		
	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Coleta 4	
Estágio I	Levantamento do epitélio respiratório	100	100	100	100
	Hiperplasia epitelial	100	100	100	100
	Fusão incompleta de várias lamelas	100	100	100	100
	Congestão de vasos sanguíneos	100	100	100	100
	Fusão completa de várias lamelas	60	100	93	100
	Dilatação do seio sanguíneo	13	26	86	100
	Parasito	6	33	33	53
Estágio II	Hiperplasia e hipertrofia das células de muco	40	93	93	86
	Espessamento descontrolado do epitélio	53	60	66	73
Estágio III	Aneurisma lamelar	60	60	100	86
	Necrose e degeneração	0	0	13	0

A relação dessas lesões branquiais encontradas em *P. amazonica* é demonstrado na Análise de Componentes Principais (PCA), representada na Figura 3, na qual os dois eixos juntos explicam 44,52% das relações:

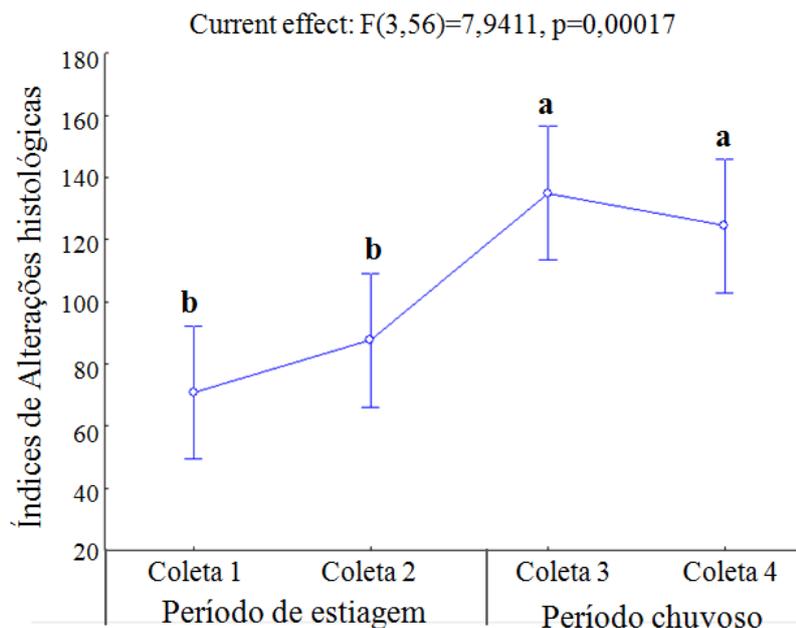
Figura 3. A Análise de Componentes Principais explicou 44,52% das relações das lesões histológicas branquiais encontradas em *Psectrogaster amazonica* coletados no rio Mearim, Bacabal, Maranhão, nordeste do Brasil.



Os eixos revelaram efeitos similares entre Levantamento do epitélio, Congestão dos vasos sanguíneos, Fusão incompleta de várias lamelas, Hiperplasia epitelial e Parasito, em que todas são alterações de estágio I. Dilatação do seio sanguíneo, Fusão completa de várias lamelas, Hiperplasia e hipertrofia das células de muco e Espessamento descontrolado do epitélio também mostraram efeitos similares, onde duas destas são lesões de estágio II. Aneurisma lamelar e Necrose e degeneração demonstraram efeitos similares e estreita relação, sendo ambas de estágio III. Assim, as lesões branquiais indicaram inter-relações entre si de acordo com os estágios de severidade I, II e III, como classifica Poleksic e Mitrovic – Tutundzic (1994).

Os Índices de Alteração Histológica (IAH) foram maiores nas coletas do período chuvoso, havendo diferença estatística significativa entre as coletas dos períodos de estiagem e chuvoso (Figura 4):

Figura 4. Médias dos Índices de Alterações Histológicas (IAH) de brânquias de *Psectrogaster amazonica* por coleta e períodos sazonais do rio Mearim, Bacabal, Maranhão, nordeste do Brasil. Letras ^{a,b}, acima das barras, quando diferentes indicam diferença estatística entre as coletas e quando iguais indicam ausência de diferença significativa (Teste Tukey $p \leq 0,05$).



Os Índices de Alteração Histológica das brânquias de *P. amazonica* coletados no período de estiagem, com valores médios de 70,8 e 87,6, foram classificados como modificação severa do tecido branquial, segundo Poleksic e Mitrovic – Tutundzic (1994). Os Índices de Alteração Histológica do período chuvoso, com valores médios de 134,8 e 124,4, foram classificados como danificação irreparável do tecido branquial (POLEKSIC; MITROVIC – TUTUNDZIC, 1994).

Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos das amostras de água do rio Mearim são apresentados com valores médios (e desvio padrão) na Tabela 2, havendo diferença significativa de oxigênio dissolvido entre as coletas dos períodos de estiagem e chuvoso. Os dados foram comparados com valores recomendados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente do Brasil (BRASIL 2005; 2011):

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água por coleta e períodos sazonais do rio Mearim, Bacabal, Maranhão, nordeste do Brasil.

Parâmetros físico-químicos e microbiológicos	Período de estiagem		Período chuvoso		Valores recomendados
	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Coleta 4	
Oxigênio dissolvido (mg/L)	9,17±0,15 ^a	9,33±0,31 ^a	7,40±0,53 ^b	7,24±0,58 ^b	≤ 5 mg/L
pH	7,73±0,86 ^a	7,46±0,22 ^a	7,17±0,32 ^a	7,16±0,29 ^a	6.5 a 8.5
Temperatura (°C)	24,90±0,85 ^a	24,47±0,8 ^a	25,13±1,31 ^a	26,0±1,0 ^a	≤ 40 °C
Turbidez (UNT)	36,40±1,82 ^a	35,33±3,51 ^a	35,33±2,57 ^a	36,67±2,08 ^a	≤100 UNT
NMP de coliformes termotolerantes/ 100 ml	2.066±577 ^{a*}	1.170±796 ^{a*}	2.400±0,0 ^{a*}	2.393±381 ^{a*}	≤1000

^{a b} Letras diferentes indicam diferença estatística entre as coletas e letras iguais indicam a ausência de diferença significativa (Teste Tukey $p \leq 0,05$); NMP: Número mais provável; *: valores em desacordo com o Conama (BRASIL 2005; 2011).

Todos os parâmetros físico-químicos estavam dentro dos limites estabelecidos pelo Conama n° 357 e n° 430 (BRASIL 2005; 2011), já o parâmetro microbiológico de coliformes excedeu o limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 ml de água em todas as coletas.

A concentração oxigênio dissolvido (OD) do rio Mearim diminuiu significativamente no período chuvoso. Os parâmetros pH, temperatura, turbidez e coliformes termotolerantes não apresentaram diferença estatística entre as coletas.

4 DISCUSSÃO

Os percentuais das lesões histológicas branquiais mostraram que as alterações de estágio I foram encontradas em abundância nos espécimes de *Psectrogaster amazonica*, mas não comprometem o funcionamento normal das brânquias (POLEKSIC; MITROVIC – TUTUNDZIC, 1994). Já as lesões de estágio II foram registradas em número mediano, indicando que as brânquias estão sendo prejudicadas pela contaminação do rio Mearim e funcionando de forma alterada. As lesões de estágio III foram registradas em menor quantidade, sendo estas irreversíveis e mais severas (POLEKSIC; MITROVIC – TUTUNDZIC, 1994), afetando de forma acentuada a sanidade dos espécimes.

As lesões branquiais de estágio I estão relacionadas a desestruturações nos epitélios respiratório e lamelar que causam desarranjos em estruturas de fluxo sanguíneo (CAMARGO; MARTINEZ, 2007), aumentando a distância entre o meio externo do sangue e a difusão de contaminantes (BARNI et al., 2016). O levantamento do epitélio lamelar caracteriza-se pela elevação do epitélio respiratório que reveste as lamelas secundárias (THOPHON et al., 2003). Congestões dos vasos sanguíneos provocam a desestruturação das células pilares devido ao fluxo sanguíneo intenso para o interior das lamelas secundárias (PAULINO et al., 2012). A fusão incompleta e completa das lamelas é ocasionada da hiperplasia das células epiteliais do epitélio respiratório (KOCA et al., 2005). A dilatação do seio sanguíneo desestrutura o canal sanguíneo aumentando a espessura da lamela primária (CAPALDO et al., 2019).

A presença de parasitos em brânquias, de acordo Poleksic e Mitrovic – Tutundzic (1994) é considerada uma alteração de estágio I. A presença de parasitos nas brânquias de 6 a 53% dos espécimes de *P. amazonica* sugere um possível prejuízo nas trocas gasosas e consequentemente à saúde dos peixes. Segundo Rodrigues et al. (2017) as principais injúrias que parasitos podem causar nas brânquias dos peixes são oclusão da circulação branquial, com necrose e destruição de áreas importantes desse órgão, e dependendo da intensidade e severidade da infecção parasitária, os peixes podem perder peso, sofrer redução do nível de lipídios e na taxa de crescimento, além de alterações comportamentais (PAVANELLI et al., 2008).

As alterações de estágio II são progressões das severidades causadas pelas lesões de estágio I (POLEKSIC; MITROVIC-TUTUNDZIC, 1994), sendo caracterizadas por disfunções na homeostase iônica e devido à ação de contaminantes (SARAIVA et al., 2015). As células de muco são responsáveis por produzir o muco como resposta às alterações na composição iônica, em que a hiperplasia e hipertrofia das células de muco formam uma barreira diminuindo a difusão dos agentes tóxicos do meio aquático para o sangue (MORON et al., 2003). O espessamento descontrolado do epitélio é uma reação de proteção aos epitélios respiratório e lamelar na tentativa de manter a homeostase iônica e as trocas gasosas (KAUR; DUA, 2015).

As lesões de estágio III causam comprometimento acentuado das estruturas branquiais de forma irreversível (POLEKSIC; MITROVIC – TUTUNDZIC, 1994) causando danos irreparáveis da morfologia e função da brânquia como ineficiências nos processos respiratórios, na manutenção da homeostase e na excreção de compostos (PAULINO et al., 2012). O aneurisma lamelar caracteriza-se pelo acúmulo de sangue nas lamelas secundárias, ocasionada pelo rompimento das células pilares, causando hemorragias (MARTINEZ et al., 2004). Necrose e degeneração são

causadas por contato direto e constante com contaminantes que causam a morte celular na estrutura branquial do peixe (ZAKERI; LOCKSHIN, 2002).

As classificações de severidade dos Índices de Alteração Histológica como modificação severa do tecido branquial, no período de estiagem, e como danificação irreparável do tecido branquial, no período chuvoso, indicam danos estruturais intensos e severos nas brânquias causando perturbações nas trocas gasosas e osmorregulação, que são mecanismos essenciais à vida dos peixes (BARNI et al., 2016).

Os Índices de Alteração Histológica do período de estiagem foram menores significativamente que os do período chuvoso, isso porque nas coletas do período chuvoso foram encontradas com mais frequência lesões de estágio III de severidade do que nas coletas de estiagem. Como as lesões de estágio III são mais severas e irreversíveis têm maior peso na avaliação semiquantitativa do cálculo do Índice de Alteração Histológica (POLEKSIC; MITROVIC-TUTUNDZIC, 1994), aumentando assim os índices do período chuvoso e indicando que a incidência de lesões nas brânquias aumentou no período de chuvas devido à ação mais intensa de contaminantes.

A análise histopatológica das brânquias é de grande eficiência, pois elas apresentam um tecido delicado e sensível a variações e contaminação ambientais. Alguns autores como Santos et al. (2014), Cantanhêde et al. (2016), Cardoso et al. (2018), Castro et al. (2019), Gomes et al. (2019) e Sousa (2020) também utilizaram o Índice de Alteração Histológica e a classificação de severidade das lesões branquiais como indicadores de respostas biológicas de peixes a contaminação ambiental. Os estudos de Camargo e Martinez (2007) e Galindo e Moreira (2009) sugeriram que no período chuvoso o escoamento das águas superficiais transporta contaminantes para os corpos d'água receptores. Os resultados encontrados se assemelham aos de Cardoso et al. (2018) e Castro et al. (2019), onde no período chuvoso foram observados maiores valores de Índices de Alteração Histológica em brânquias de peixes.

As análises microbiológicas realizadas no rio Mearim demonstraram a presença de contaminantes fecais devido às altas densidades de coliformes termotolerantes, indicativas de despejo de esgotos domésticos *in natura*. Estudo de Silva et al. (2014) encontrou concentrações elevadas dos metais pesados Manganês, Zinco e Chumbo no sedimento no rio Mearim. Os biomarcadores histológicos observados nas brânquias de *P. amazonica* podem ser efeitos de exposição e incorporação desses contaminantes e estressores ambientais. Os estudos de Hedayati et al. (2014), Subashkumar e Selvanayagam (2014), Barišić et al. (2015) e Barbieri et al. (2016)

mostraram que contaminantes como dejetos fecais e metais pesados alteram a morfologia branquial de peixes.

As altas densidades de coliformes termotolerantes encontrados no rio Mearim podem ser empregadas como parâmetros bacteriológicos básicos na definição de padrões para a caracterização e avaliação da qualidade das águas (ALVES et al., 2018). Estudos de Cunha e Silva (2002) e Magalhães Júnior et al. (2012) realizados no rio Mearim também registraram altos valores de coliformes totais e termotolerantes, indicando que a presença de lançamento de esgoto sem tratamento com grande quantidade de dejetos fecais é uma prática comum nesse ambiente aquático.

Valores elevados de coliformes termotolerantes encontrados no rio Mearim, podem contribuir com a deterioração de sua qualidade e diminuição nos valores de oxigênio dissolvido (EUBA NETO et al., 2012), uma vez que as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios (CAO et al., 2017). O oxigênio dissolvido exerce profundo controle sobre a vida aquática, em que, a diminuição desse parâmetro, como encontrado no rio Mearim nas coletas do período chuvoso, com valores próximos ao ponto de saturação, pode causar problemas na respiração, alimentação, e reprodução dos peixes (BRASIL, 2005).

A diminuição de oxigênio dissolvido no período chuvoso e aumento dos coliformes termotolerantes também neste período indicam que o aumento de densidade pluviométrica permite maior entrada de matéria orgânica no rio Mearim, havendo um maior consumo de oxigênio dissolvido pelas bactérias termotolerantes durante o período chuvoso. Nogueira et al. (2003) indicaram que há um aumento na taxa de coliformes durante o período chuvoso, acompanhada pelo aumento no índice pluviométrico. Segundo Moura et al. (2009), durante o período chuvoso, micro-organismos presentes no entorno dos mananciais podem ser carregados para dentro do corpo hídrico, ocorrendo assim uma contaminação mais intensa.

O rio Mearim apresenta deterioração das suas margens com ausência de mata ciliar, assoreamento de seu leito, lançamento de esgotos domésticos (MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2012) e de metais pesados (SILVA et al., 2014). Essas práticas contribuem para a contaminação das águas, tornando-as impróprias para o consumo, balneabilidade e trazendo perigos de saúde pública e para a ictiofauna. A proximidade do perímetro urbano da cidade de Bacabal com o rio Mearim acarreta maior probabilidade de contaminação da água. Magalhães Júnior et al. (2012) advertiram que o rio Mearim apresenta complexidade natural decorrente de sua elevada fragilidade ambiental frente às ações antrópicas.

5 CONCLUSÃO

Os biomarcadores histológicos nas brânquias de *Psectrogaster amazonica* e as análises da água do rio Mearim, indicam o comprometimento da qualidade da água e da sanidade dos peixes, que se agravam no período chuvoso diante da intensificação dos contaminantes. As alterações histológicas indicaram danos estruturais intensos e severos nas brânquias causando perturbações nestes órgãos que são essenciais à vida dos peixes. Os resultados do biomonitoramento das águas do rio Mearim envolvendo a ictiofauna são inéditos para o rio Mearim são e podem contribuir para a conservação desse ecossistema aquático do nordeste brasileiro.

REFERÊNCIAS

ALVES, R. I.; MACHADO, C. S.; BEDA, C. F.; FREGONESI, B. M.; NADAL, M.; SIERRA, J.; SEGURA-MUÑOZ, S. I. Water quality assessment of the Pardo River Basin, Brazil: A multivariate approach using limnological parameters, metal concentrations and indicator bacteria. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 75, n. 2, p. 199-212, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00244-017-0493-7>

APHA. American Public Health. **Association Standard methods for examination of water and waster water**. 19th. ed. Washington. New York: APHA, 1995.

BARBIERI, E.; CAMPOS-GARCIA, J.; MARTINEZ, D. S.; DA SILVA, J. R. M.; ALVES, O. L.; REZENDE, K. F. Histopathological effects on gills of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758) exposed to Pb and carbon nanotubes. **Microscopy and Microanalysis**, v. 22, n. 6, p. 1162-1169, 2016. <https://doi.org/10.1017/S1431927616012009>

BARIŠIĆ, J.; DRAGUN, Z.; RAMANI, S.; MARIJIĆ, V. F.; KRASNIĆI, N.; ČOŽ-RAKOVAC, R.; JORDANOVA, M. Evaluation of histopathological alterations in the gills of Vardar chub (*Squalius vardarensis* Karaman) as an indicator of river pollution. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 118, p. 158-166, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.04.027>

BARNI, M. F. S.; ONDARZA, P. M.; GONZALEZ, M.; DA CUÑA, R.; MEIJIDE, F.; GROSMAN, F.; MIGLIORANZA, K. S. Persistent organic pollutants (POPs) in fish with different feeding habits inhabiting a shallow lake ecosystem. **Science of the Total Environment**, v. 550, p. 900-909, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.176>

BRASIL. CONAMA– Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília: **Diário Oficial da União**, 2005.

BRASIL. CONAMA– Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Brasília: **Diário Oficial da União**, 2011.

CADONÁ, E. A.; DE SOUZA, E. L.; GUERRA, D.; BOHRER, R. E. G. Utilização de adubação orgânica com dejetos de suínos e contaminação de água e de solo por coliformes. **Ciência e Natura**, v. 38, n. 3, p. 1601-1609, 2016. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467547716048>

CAMARGO, M. M.; MARTINEZ, C. B. Histopathology of gills, kidney and liver of a Neotropical fish caged in an urban stream. **Neotropical Ichthyology**, v. 5, n. 3, p. 327-336, 2007. <https://dx.doi.org/10.1590/S1679-62252007000300013>

CANTANHEDE, S. M.; CASTRO, G. S.; PEREIRA, N. J.; CAMPOS, J. S. P.; SILVA, J.; TCHAICKA, L.; FORTES, R.; TORRES JUNIOR, J. R. S.; SANTOS, D. M. S. Evaluation of environmental quality of two estuaries in Ilha do Maranhão, Brazil, using histological and genotoxic biomarkers in *Centropomus undecimalis* (Pisces, Centropomidae). **Environmental Science and Pollution Research International**, v. 23, n. 1, p. 1-12, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7294-9>

CAPALDO, A.; GAY, F.; LAFORGIA, V. Changes in the gills of the European eel (*Anguilla anguilla*) after chronic exposure to environmental cocaine concentration. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 169, p. 112-119, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.010>

CARDOSO, R.L.; CARVALHO-NETA, R. N. F.; DE CASTRO, A. C. L.; FERREIRA, C. F. C.; SILVA, M. H. L.; DE JESUS AZEVEDO, J. W.; SANTOS, D. M. S. Histological and genotoxic biomarkers in *Prochilodus lacustris* (Pisces, Prochilodontidae) for environmental assessment in a Protected area in the Northeast of Brazil. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 101, n. 5, p. 570-579, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00128-018-2464-8>

CASTRO, J. S.; FRANÇA, C. L.; DE LIMA CARDOSO, R.; DA SILVA, W. M. M. L.; DE SANTANA, T. C.; SANTOS, D. M. S.; TEIXEIRA, E. G. Histological Changes in the Kidney of *Sciades Herzbergii* (Siluriformes, Ariidae) for Environmental Monitoring of a Neotropical Estuarine Area (São Marcos Bay, Northeastern Brazil). **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 103, n. 2, p. 246-254, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00128-019-02633-x>

CUNHA, H. W. A. P.; DA SILVA, A. C. Caracterização Sócio-ambiental do rio Mearim na cidade de Arari- MA. **Revista Ecosistema**, v.27, n. 1, 2002.

EDOKPAYI, J. N.; ODIYO, J. O.; DUROWOJU, O. S. Impact of wastewater on surface water quality in developing countries: a case study of South Africa. **Water quality**, p. 401-416, 2017. <http://dx.doi.org/10.5772/66561>

EUBA NETO, M.; DA SILVA, W. O.; RAMEIRO, F. C.; DO NASCIMENTO, E. S. ALVES, A. DE S. Análises físicas, químicas e microbiológicas das águas do balneário Veneza na bacia hidrográfica do médio Itapecuru, MA. **Arquivo do Instituto Biológico**, São Paulo, v.79, n.3, p.397-403, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1808-16572012000300010>

GALINDO, T. P. S; MOREIRA, L. M.. Evaluation of genotoxicity using the micronucleus assay and nuclear abnormalities in the tropical sea fish *Bathygobius soporator* (Valenciennes, 1837) (Teleostei, Gobiidae). **Genetics and Molecular Biology**, v. 32, p. 394-398, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572009000200029>

GEPLAN- Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico. Laboratório de Geoprocessamento-UEMA. **Atlas do Maranhão**. São Luís; GEPLAN, 2002. 44p.

GERNHÖFER, M.; PAWERT, M.; SCHRAMM, M.; MÜLLER, E.; TRIEBSKORN, R. Ultrastructural biomarkers as tools to characterize the health status of fish in contaminated streams. **Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery**, v. 8, n. 3-4, p. 241-260, 2001. <https://doi.org/10.1023/A:1012958804442>

GOMES, J. B.; PEREIRA, N. J.; DE SOUSA, E. L.; DA SILVA SOUSA, D.; DE MORAES LENZ, T.; SANTOS, D. M. S. Evaluation of aquatic contamination in an urban lagoon environment in a coastal region in the north of Brazil. **Bioscience Journal**, v. 35, n. 3, 2019. <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v35n3a2019-39858>

GUPTA, R. C. Chapter 1: Introduction. In: GUPTA, R. C. (Ed.). **Biomarkers in Toxicology**. Kentucky, USA, Elsevier, 2014.

HEDAYATI, A.; HOSEINI, S. M.; GHELICHPOUR, M. Acute toxicity of waterborne manganese to *Rutilus caspicus* (Yakovlev, 1870)—gill histopathology, immune indices, oxidative condition, and saltwater resistance. **Toxicological & Environmental Chemistry**, v. 96, n. 10, p. 1535-1545, 2014. <https://doi.org/10.1080/02772248.2015.1028408>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010**. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/8FK>>. Visualizado em 15 de abril de 2020.

KAUR, R.; DUA, A. Municipal wastewater-induced histopathological lesions in gills of freshwater fish *Labeo rohita*—A SEM study. **Toxicological & Environmental Chemistry**, v. 97, n. 8, p. 1099-1112, 2015. <https://doi.org/10.1080/02772248.2015.1091889>

KOCA, Y. B.; KOCA, S.; GÜRCÜ, B.; OSANÇ, E.; TUNÇBAS, O.; AKSOY, G. Investigation of histopathological and cytogenetic effects on *Lepomis gibbosus* (Pisces: Perciformes) in the Çine stream (Aydin/Turkey) with determination of water pollution. **Environmental Toxicology**, n.20, p.560-571, 2005. <https://doi.org/10.1002/tox.20145>

LIU, J.; DIAMOND, J. China's environment in a globalizing world. **Nature**, v. 435, n. 7046, p. 1179-1186, 2005. <https://doi.org/10.1038/4351179a>

MAGALHÃES JÚNIOR, A. A.; DE ARAUJO, I. F. M.; SOUSA, L. N.; SILVA, K. L. F.; SANTOS, W. S.; SILVA, M. R. C. Parâmetros físico-químicos e bacteriológicos em amostra da água do rio Mearim no município de Bacabal- MA, 2012. **Anais... 64° Reunião anual da SBPC- Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 22 a 27 de julho de 2012, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Maranhão, 2012.** <http://www.sbpcnet.org.br/livro/64ra/resumos/resumos/6534.htm>

MARTINEZ, C. B. R.; NAGAE, M. Y.; ZAIA, C. T. B. V.; ZAIA, D. A. M. Acute morphological and physiological effects of lead in the neotropical fish *Prochilodus lineatus*. **Brazilian Journal of Biology**, v.64, n.4, 2004. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842004000500009>

MASESE, F. O.; OMUKOTO, J. O.; NYAKEYA, K. Biomonitoring as a prerequisite for sustainable water resources: a review of current status, opportunities and challenges to scaling up in East Africa. **Ecohydrology & Hydrobiology**, v. 13, n. 3, p. 173-191, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2013.06.004>

MONTEIRO, S. M.; ROCHA, E.; FONTAÍNHAS-FERNANDES, A.; SOUSA, M. Quantitative histopathology of *Oreochromis niloticus* gills after copper exposure. **Journal of Fish Biology**, v. 73, n. 6, p. 1376-1392, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2008.02009.x>

MORON, S. E.; OBA, E. T.; DE ANDRADE, C. A.; FERNANDES, M. N. Chloride cell responses to ion challenge in two tropical freshwater fish, the erythrinids *Hoplias malabaricus* and *Hoplerythrinus unitaeniatus*. **Journal of Experimental Zoology Part A: Comparative Experimental Biology**, v. 298, n. 2, p. 93-104. 2003. <https://doi.org/10.1002/jez.a.10259>

MOURA, A. C.; ASSUMPÇÃO, R. A. B.; BISCHOFF, J. Monitoramento físico-químico e microbiológico da água do rio Cascavel durante o período de 2003 a 2006. **Arquivo do Instituto Biológico**, São Paulo, v.76, n.1, p.17-22, 2009. http://www.biologico.sp.gov.br/uploads/docs/arq/v76_1/moura.pdf

NASCIMENTO, G. B.; DO VALE AMARAL, L.; RAMOS, N. C.; LITAIFF, N. R.; RIBEIRO, M. W. S.; DA SILVA LADISLAU, D.; DE OLIVEIRA, A. T. Hematological parameters of Matrinxã *Brycon amazonicus* (Characidae: Bryconinae) created in captivity in the Amazon region. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 3303-3315, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n1-238>

NOGUEIRA, G.; NAKAMURA, C.V.; TOGNIM, M.C.B.; ABREU FILHO, B.A.; DIAS FILHO, B. P. Microbiological quality of drinking water of urban and rural communities, Brazil. **Revista de Saúde Pública**, v.37, p.2, p.232-236, 2003.

PAULINO, M. G.; SOUZA N. E. S.; FERNANDES, M. N. Subchronic exposure to atrazine induces biochemical and histopathological changes in the gills of a Neotropical freshwater fish, *Prochilodus lineatus*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 80, p. 6-13, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.02.001>

PAVANELLI, G. C.; EIRAS, R. C.; TAKEMOTO, R. M. **Doenças de peixes profilaxia, diagnóstico e tratamento**. 3.ed. Maringá: Eduem, 2008. 311p.

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

REDDY, P. B.; RAWAT, S. S. Assessment of aquatic pollution using histopathology in fish as a protocol. **International Research Journal of Environment Sciences**, v. 2, n. 8, p. 79-82, 2013.

RODRIGUES, L. C.; SANTOS, A. C. G.; FERREIRA, E. M.; TEÓFILO, T. S.; PEREIRA, D. M. COSTA, F. N. Aspectos parasitológicos da traíra (*Hoplias malabaricus*) proveniente da cidade de São Bento, MA. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 69, n. 1, p. 264-268, 2017. <https://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-8798>

SANTOS, D.; MELO, M. R. S.; MENDES, D. C. S.; ROCHA, I. K.; SILVA, J. P. L.; CANTANHÊDE, S. M.; MELETTI, P. C. Histological Changes in Gills of Two Fish Species as Indicators of Water Quality in Jansen Lagoon (São Luís, Maranhão State, Brazil). **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 11, n. 12, p. 12927-12937, 2014. <https://doi.org/10.3390/ijerph111212927>

SARAIVA, A.; COSTA, J.; SERRÃO, J.; CRUZ, C.; EIRAS, J. C. A histology-based fish health assessment of farmed seabass (*Dicentrarchus labrax* L.). **Aquaculture**, v. 448, p. 375-381, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.06.028>

SILVA, M. R. C.; RODRIGUES, E. H. C.; CARVALHO, T. R.; PEREIRA, M. A. A.; SILVA, I. P. Avaliação das concentrações de metais totais no sedimento do médio curso do rio Mearim em Bacabal- MA. **Anais... V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, 24 a 27 de novembro de 2014, Belo Horizonte, Minas Gerais. <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2014/VIII-040.pdf>

SILVEIRA, M. P. Aplicação do biomonitoramento para avaliação da qualidade da água em rios. **Embrapa Meio Ambiente-Documentos (INFOTECA-E)**, 2004. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/14518>

SOARES, E. do C. Peixes do Mearim. **Revista Plural**, n. 10, 2013. 131p.

SOGORB, M. A.; PAMIES, D.; DE LAPUENTE, J.; ESTEVAN, C.; ESTÉVEZ, J.; VILANOVA, E. An integrated approach for detecting embryotoxicity and developmental toxicity of environmental contaminants using in vitro alternative methods. **Toxicology Letters**, v. 230, n. 2, p. 356-367, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2014.01.037>

SOUSA, E. L.; PEREIRA, N. J.; GOMES, J. B.; DOS SANTOS, M. M.; SANTOS, D. M. S. Ecotoxicological Analyses of Springs of a Brazilian Northeast Conservation Unit. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 104, n. 1, p. 27-34, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00128-019-02757-0>

SUBASHKUMAR, S.; SELVANAYAGAM, M. First report on: Acute toxicity and gill histopathology of fresh water fish *Cyprinus carpio* exposed to Zinc oxide (ZnO) nanoparticles. **International Journal of Scientific and Research Publications**, v. 4, n. 3, p. 1-4, 2014. <https://www.semanticscholar.org/paper/First-report-on%3A-Acute-toxicity-and-gill-of-fresh-Subashkumar-Selvanayagam/95e01b5e0cc2c9611b856e33beb46d5f0137a10e?p2df>

THOPHON, S.; KRUATRACHUE, M.; UPATHAM, E. S.; POKETHITIYOOK, P.; SAHAPHONG, S.; JARITKHUAN, S. Histopathological alterations of white seabass, *Lates calcarifer*, in acute and subchronic cadmium exposure. **Environmental Pollution**, v. 121, n. 3, p. 307-320. 2003. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00270-1](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00270-1)

VAN DER OOST, R.; BEYER, J.; VERMEULEN, N. P. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 13, n. 2, p. 57-149, 2003. [https://doi.org/10.1016/S1382-6689\(02\)00126-6](https://doi.org/10.1016/S1382-6689(02)00126-6)

WINKALER, E. U.; DAS GRAÇAS SILVA, A.; GALINDO, H. C.; DOS REIS MARTINEZ, C. B. Biomarcadores histológicos e fisiológicos para o monitoramento da saúde de peixes de ribeirões de Londrina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 23, p. 507-514, 2001. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v23i0.2708>

ZAKERI, Z.; LOCKSHIN, R. A. Cell death during development. **Journal of Immunological Methods**, v. 265, p. 3-0, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0022-1759\(02\)00067-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1759(02)00067-4)