



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE BALSAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

TAÍLA LORRANE DA SILVA BRITO

**BIOMARCADORES HISTOPATOLÓGICOS EM *Pimelodus* sp. (SILURIFORMES:
PIMELODIDAE) PARA MONITORAMENTO DA BACIA DO RIO PARNAÍBA NO
MUNICÍPIO DE TASSO FRAGOSO-MA**

BALSAS
2022.2



TAÍLA LORRANE DA SILVA BRITO

BIOMARCADORES HISTOPATOLÓGICOS EM *Pimelodus* sp. (SILURIFORMES: PIMELODIDAE) PARA MONITORAMENTO DA BACIA DO RIO PARNAÍBA NO MUNICÍPIO DE TASSO FRAGOSO-MA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Maranhão Campus Balsas, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof.^a Dra. Débora Batista Pinheiro Sousa

Coorientador: Prof. Dr. Jonatas da Silva Castro

BALSAS
2022.2

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

SILVA BRITO, TAÍLA LORRANE DA.

BIOMARCADORES HISTOPATOLÓGICOS EM *Pimelodus* sp.
SILURIFORMES: PIMELODIDAE PARA MONITORAMENTO DA BACIA DO
RIO PARNAÍBA NO MUNICÍPIO DE TASSO FRAGOSO-MA / TAÍLA
LORRANE DA SILVA BRITO. - 2022.

31 p.

Coorientador(a): JONATAS DA SILVA CASTRO.

Orientador(a): DÉBORA BATISTA PINHEIRO SOUSA.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental,
Universidade Federal do Maranhão, BALSAS-MA, 2022.

1. BIOINDICADORES. 2. LESÕES HISTOLÓGICAS. 3. MANDI.
4. SAÚDE AMBIENTAL. I. BATISTA PINHEIRO SOUSA, DÉBORA.
II. SILVA CASTRO, JONATAS DA. III. Título.

TAÍLA LORRANE DA SILVA BRITO

BIOMARCADORES HISTOPATOLÓGICOS EM *Pimelodus* sp. (SILURIFORMES: PIMELODIDAE) PARA MONITORAMENTO DA BACIA DO RIO PARNAÍBA NO MUNICÍPIO DE TASSO FRAGOSO-MA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Maranhão Campus Balsas, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovado em 07 de dezembro de 2022.

Banca Examinadora

Profª Drª Débora Batista Pinheiro Sousa
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Profª Drª Ana Paula de Melo e Silva Vaz
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Profª Drª Juliana Bezerra Martins
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Dedico este trabalho ao meu irmão, Endreu Tierre da Silva Brito (*in memoriam*), que tanto me apoiou e que onde estiver deve estar muito feliz por essa minha conquista.
Te amo irmão!

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todas às vezes que eu estive cansada e desanimada, por me mostrar que eu podia ir um pouco mais e alcançar a benção de concluir essa etapa na minha vida;

À minha mãe Laurinete, por ser meu maior exemplo de guerreira, me incentivando sempre a estudar e tendo as palavras certas a compartilhar em cada situação; ao meu pai Deusdete, por todo o esforço e trabalho para dar o melhor para os filhos; aos meus irmãos Endreu Tierre e Anthony Kauê, e às minhas irmãs Thalía Kaline e Thaís Cauane, pelo companheirismo, amor e apoio incondicional;

À professora Dra. Alana Gandra Lima de Moura por ter se disponibilizado a me orientar inicialmente, mas por motivos pessoais precisou se afastar da universidade;

À minha querida orientadora professora Dra. Débora Batista Pinheiro Sousa por me acolher mais uma vez, pela paciência e apoio neste trabalho; ao meu querido coorientador professor Dr. Jonas da Silva Castro pela paciência, disponibilidade e auxílio que foi imprescindível para a conclusão deste estudo;

A todos os professores que fazem parte ou que já passaram pelo núcleo de Engenharia Ambiental da UFMA campus Balsas, pelos ensinamentos e experiências compartilhadas ao longo de toda a minha trajetória no curso. Aos demais colaboradores da UFMA campus Balsas, que através dos seus trabalhos ajudam na missão de preparar profissionais competentes para o mercado de trabalho;

Aos colegas de curso por terem compartilhado um pedacinho dessa caminhada, em especial a Rayssa e a Maria de Jesus por terem auxiliado nas coletas e a Luciana que é uma amiga querida e que eu admiro muito;

Aos meus colegas de trabalho da Lavronorte Máquinas que são minha segunda família, pelo companheirismo diário e apoio. Em especial a toda equipe do setor de serviços e ao meu gerente, Walter Júnior, que inúmeras vezes me concedeu folgas/férias em momentos oportunos para que eu conseguisse conciliar o trabalho com meus estudos;

Aos demais familiares e amigos pelo incentivo ao longo dessa jornada e a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão deste curso. Muito obrigada!

[...] plante seu jardim e decore sua alma,
ao invés de esperar que alguém lhe traga
flores. E você aprende que realmente pode
suportar... que realmente é forte, e que
pode ir muito mais longe depois de pensar
que não se pode mais. E que realmente a
vida tem valor e que você tem valor diante
da vida!

Trecho adaptado de um poema de
Veronica Shoffstall.

RESUMO

A contaminação de cursos hídricos devido a influência de atividades antrópicas pode prejudicar a saúde ambiental e conseqüentemente, os peixes residentes nesses ecossistemas. O objetivo do presente trabalho foi analisar a presença de alterações histopatológicas em brânquias de peixes mandi (*Pimelodus sp.*) coletados em três diferentes pontos do rio Parnaíba nas proximidades do município de Tasso Fragoso - MA. O material biológico analisado foi retirado de 30 indivíduos de mandi, sendo 10 indivíduos de cada ponto de coleta. Os resultados indicaram alterações branquiais dos tipos: deslocamento epitelial, congestão, hiperplasia celular, aneurisma e fusão lamelar. A área urbana apresentou o maior grau de alterações, indicando que provavelmente esse ponto esteja sofrendo com a pressão antrópica oriunda das atividades ao entorno, além do agravo da utilização de pesticidas na região.

Palavras-chave: Saúde ambiental. Bioindicadores. Lesões histológicas. Mandi.

ABSTRACT

The contamination of waterways due to the influence of human activities can harm the environmental health and, consequently, the fish living in these ecosystems. The objective of this study was to analyze the presence of histopathological alterations in the gills of mandi fish (*Pimelodus* sp.) collected from three different points of Parnaíba River near Tasso Fragoso - MA. The biological material analyzed was taken from 30 mandi individuals, 10 individuals from each collection point. The results indicated gill changes of the types: epithelial displacement, congestion, cell hyperplasia, aneurysm and lamellar fusion. The urban area showed the highest degree of alterations, indicating that probably this point is most affected by anthropic pressure from the surrounding activities, besides the aggravation of the use of pesticides in the region.

Keywords: Environmental health. Bioindicators. Histological lesions. Mandi.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Justificativa	9
1.2	Objetivo Geral	10
1.3	Objetivos Específicos	10
2.1	Importância do monitoramento do rio Parnaíba	11
2.2	Contaminação da água por defensivos agrícolas	12
2.1	Peixes como bioindicadores de poluição aquática	13
3	METODOLOGIA	15
3.1	Caracterização da área de estudo	15
3.2	Coleta dos exemplares de peixes	16
3.3	Análise histológica	17
3.4	Análise estatística	18
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4.1	Características físico-químicas da água	19
4.2	Dados biométricos	20
4.3	Biomarcadores histológicos em brânquias de <i>Pimelodus</i> sp.	20
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
	REFERÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

O Brasil cada vez mais tem se destacado no agronegócio mundial, devido à grande quantidade de áreas, disponibilidade de água para irrigação e clima favorável que possibilitam a produção de alimentos com qualidade, suprindo a grande demanda dos consumidores. Atrelado ao aumento da produtividade, ocorre um aumento da aquisição de insumos, como os fertilizantes e defensivos agrícolas (SAATH; FACHINELLO, 2018).

O uso destes insumos, na ausência de acompanhamento técnico, pode ser realizado em locais inadequados, como sítios de recarga de aquíferos, fazendo com que os riscos de contaminação ambiental sejam agravados e as práticas agrícolas se tornem importantes elementos para a poluição (HENN, 2009).

Em função do manejo da área e das características de influência dos solos em seres vivos, o meio científico passou a se alarmar com a poluição e contaminação dos corpos de águas superficiais, subsuperficiais e subterrâneas devido principalmente à presença destes agroquímicos no ambiente que o predispõe a perdas por lixiviação, volatilização, erosão eólica e carregamentos pela água da chuva (INOUE et al., 2011), podendo afetar os organismos presentes nesses ecossistemas, como os peixes.

Os peixes têm potencial de bioacumulação de poluentes presentes na água e seu consumo pode contaminar as populações humanas devido ao potencial de biomagnificação de poluentes através da cadeia alimentar (OLIVEIRA RIBEIRO et al., 2006). Por isso, é extremamente importante que se faça o monitoramento das espécies ícticas presentes em ambientes potencialmente impactados pela atividade antrópica, a exemplo do uso de biomarcadores, que tem se demonstrado uma metodologia eficiente para esse fim.

Biomarcadores são definidos como modificações bioquímicas, celulares, fisiológicas ou comportamentais que são evidenciadas em análises histológicas ou de fluidos corporais, nos organismos e populações que indicam a presença de poluentes químicos (Leonzio; Fossi, 1993). As duas principais características dos biomarcadores são: permitem identificar as interações que ocorrem entre os organismos e os contaminantes de locais potencialmente impactados e possibilitam a mensuração de

efeitos subletais, contribuindo assim, para a tomada de medidas remediadoras ou preventivas (Jesus; Carvalho, 2008).

Tal mensuração pode ser realizada por meio de análises histológicas, pois possibilita avaliar efeitos subletais e crônicos induzidos pela poluição do ambiente. As alterações histológicas podem ser observadas em diferentes órgãos vitais para sobrevivência dos peixes, como as brânquias; em estudo realizado por Nogueira et al. (2008), utilizando brânquias *Pimelodus maculatus* como biomarcador de poluição ambiental, observaram que as alterações histopatológicas indicam que os peixes respondem aos efeitos de agentes tóxicos presentes na água e sedimentos.

As brânquias exercem funções importantes para respiração, osmorregulação e excreção, sendo órgãos-alvos cujas respostas podem oferecer subsídios a estudos de impacto ambiental (SALEH, 1982). As consequências diretas da ação de poluentes nestes órgãos-alvos podem desencadear processos degenerativos e necróticos, transtornos decrescimento celular, como hiperplasia e hipertrofia celular além de distúrbios circulatórios (HIBIYA, 1982). Este órgão por possuir uma ampla área de superfície e se localizar de forma relativa no meio externo do peixe, faz deste um objeto chave para o estudo das ações dos poluentes no meio aquático.

Nesse contexto, o presente estudo buscou avaliar uma possível contaminação dos organismos do rio Parnaíba, especificamente no município de Tasso Fragoso - MA, área transicional entre o Cerrado e a Amazônia, com vegetação Savana Arborizada e Savana Florestada (IBGE, 2016), destaque no cenário agrícola maranhense, por meio de biomarcadores histológicos visando entender os possíveis impactos causados pelo uso de defensivos para esse ecossistema e os organismos presentes.

1.1 Justificativa

Os corpos d'água doce da bacia do rio Parnaíba estão entre os ecossistemas que mais têm sofrido agressões no processo de expansão do agronegócio do Sul Maranhense. Apesar desses recursos hídricos serem importantes para a qualidade ambiental e a manutenção da região, diversas têm sido as intervenções humanas que causam modificações profundas na sua dinâmica, tais como, contaminação devido as

atividades domésticas ou industriais, pesca predatória, redução da mata ciliar e impactos pela agricultura e pecuária.

A atividade agropecuária é uma das principais atividades econômicas desenvolvidas no Brasil, no entanto, existem importantes aspectos ambientais atrelados a esta atividade que precisam ser bem controlados a fim de evitar impactos ambientais negativos. A utilização de defensivos agrícolas, por exemplo, pode ocasionar a contaminação do solo, do lençol freático e dos cursos de águas superficiais, conseqüentemente contaminando a fauna e flora local, e até mesmo os seres humanos devido ao processo de bioacumulação de poluentes através da cadeia alimentar.

Diante do exposto, para garantir uma boa qualidade ambiental é importante existir informações sistemáticas que permitam identificar alterações nos recursos ambientais ao longo do tempo, e o biomonitoramento utilizando biomarcadores histológicos é uma ferramenta útil para avaliar o efeito dos possíveis contaminantes aquáticos sobre a saúde dos peixes.

1.2 Objetivo Geral

Avaliar alterações histológicas em brânquias do mandi (*Pimelodus* sp.) como biomarcadores de contaminação aquática na bacia do rio Parnaíba no município de Tasso Fragoso- MA.

1.3 Objetivos Específicos

- Identificar e quantificar alterações branquiais em mandi (*Pimelodus* sp.);
- Avaliar o grau de severidade das alterações;
- Calcular o índice de alteração histológica (IAH) e;
- Validar a utilização de brânquias de *Pimelodus* sp. como biomarcadores de contaminação aquática na bacia do Rio Parnaíba em Tasso Fragoso-MA.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Importância do monitoramento do rio Parnaíba

A região hidrográfica do Parnaíba é uma das mais importantes do Nordeste brasileiro. O rio Parnaíba se estende por mais de 1.400 km e atravessa os biomas Cerrado e Caatinga. O Vale do Parnaíba possui uma superfície de 325.834,80 km², abrangendo 279 municípios e uma população com mais de 4.800.000 pessoas (CODEVASF, 2022).

De acordo com dados do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), o rio Parnaíba nasce na Chapada das Mangabeiras à altitude de 700 m e o rio das Balsas seu principal afluente, possui 525 km. Os períodos de cheias ocorrem entre janeiro e julho, e o período de águas baixas se estende de agosto a dezembro (DNIT, 2018).

O rio Parnaíba é utilizado como hidrovía para o transporte de cargas de interesse regional e abrange os estados do Piauí, parte do Maranhão e Ceará, e dispõe de potencial para o escoamento dos grãos produzidos nas fronteiras agrícolas do sul do Piauí, do sudeste do Maranhão, noroeste da Bahia, e nordeste do Tocantins, onde a produção agrícola é constituída, principalmente, pelas culturas de soja, cana, arroz e milho (DNIT, 2018).

O Perfil da Agropecuária Maranhense 2020 – 2021, disponibilizado pela Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária e Pesca - SAGRIMA, mostrou que na safra 2020, tiveram destaque como os três maiores produtores do estado do Maranhão os municípios de Balsas, Tasso Fragoso e Alto Parnaíba, e as culturas mais produzidas foram soja e milho em grãos, algodão em caroço e cana-de-açúcar (SAGRIMA, 2021).

Ainda de acordo com a SAGRIMA (2021) com a cultura de soja, o município de Tasso Fragoso superou Balsas produzindo 609.930 toneladas, enquanto Balsas produziu 609.025 toneladas, em seguida Açailândia com 178.681 toneladas, por fim, Alto Parnaíba com 168.589 toneladas.

Em relação a cultura de milho, Balsas se destaca sendo o primeiro colocado com uma produção de 627.366 toneladas, logo depois Tasso Fragoso ocupada a segunda colocação com 338.741 toneladas e na sequência São Raimundo das Mangabeiras contribui com 153.385 toneladas. O Maranhão produziu ainda em 2020, 107.798 toneladas de algodão, sendo que o município de Tasso Fragoso produziu 61.528 toneladas e Balsas 46.270 toneladas (SAGRIMA, 2021). Dentro desse contexto, o rio Parnaíba se apresenta como um grande aliado para a produção agrícola nesses municípios, sendo uma importante fonte de irrigação.

2.2 Contaminação da água por defensivos agrícolas

Paralelo ao desenvolvimento, a atividade agrícola no Brasil demanda uma elevada quantidade de defensivos, que são compostos por uma grande diversidade de substâncias químicas ou produtos biológicos com a finalidade de controlar pragas, doenças e regular o crescimento da vegetação. Todavia, tais defensivos utilizados nas culturas podem atingir com facilidade organismos não alvos e gerar um desequilíbrio ecológico.

O nosso ecossistema é uma das principais vítimas do uso desses produtos, em que, os seres bióticos e abióticos que o compõe estão sujeitos aos riscos impostos. Após a aplicação dos defensivos, o destino de seus resíduos é amplo e variado, podendo ser levado para áreas distantes de onde foi feito seu uso, devido ao vento e água. Pode contaminar regiões próximas às lavouras, como áreas urbanas, contaminar água, além de poder se juntar com outros resíduos e causar danos maiores (GURGEL, 2017).

Conforme Rodrigues (p. 218, 2003):

Resíduos de agrotóxicos, especialmente organoclorados, estão presentes em todos os compartimentos ambientais do globo, desde as áreas mais remotas. Traços de DDT, BHC, aldrin, heptacloro, entre outros, podem ser detectados na atmosfera sobre o Atlântico Sul e Oceano Antártico, em amostras de solo, água, gelo e neve na Antártica, e em elevadas altitudes nos Andes Chilenos. A contaminação alcança as águas subterrâneas extraídas para consumo humano e mesmo águas tratadas e oferecidas para consumo nas cidades, ainda que em níveis considerados seguros.

Diante do exposto, é notável a relevância do manejo adequado dos defensivos agrícolas nas lavouras, visto que, uma possível contaminação dos recursos hídricos é uma das realidades causadas pelo uso incontido desses produtos. Às águas superficiais, como rios, lagos, lagoas, têm maior suscetibilidade de contaminação do que às subterrâneas, como os aquíferos, porém estas ainda correm risco de contaminação (CANUTO et al., 2010). Causando assim, danos à saúde humana e ambiental.

Substâncias poluidoras em concentrações elevadas no ambiente aquático, podem comprometer os diversos usos da água, ocasionar mudanças nos nutrientes e prejudicar os organismos presentes no ambiente (Farage et al., 2010).

Desse modo, a busca para encontrar o elemento desencadeador de tais desequilíbrios ecológicos, deve ser feita rapidamente, para que não ocasione danos irreversíveis. Para isso, Huggett et al. (1992) destacam a utilização de biomarcadores como indicadores bioquímicos, fisiológicos e histológicos, para avaliação dos efeitos provocados por contaminantes químicos. Além de servirem para verificar o estado de saúde dos organismos, destaca-se a utilização de biomarcadores como alertas de risco ambiental (PAYNE et al., 1987).

2.1 Peixes como bioindicadores de poluição aquática

A utilização de bioindicadores em avaliações ambientais, complementam os resultados obtidos através de avaliações físico-químicas, evidenciando a resposta dos organismos, em razão das mudanças ocorridas no ambiente (Moraes, 2000).

Um bioindicador ideal deve sobreviver em ambientes saudáveis, mas também apresentar relativa resistência ao contaminante que está exposto. Além disso, se o organismo for abundante no ambiente, pode facilitar o desenvolvimento do estudo e a facilidade em adaptar-se aos ensaios laboratoriais (LINS et al., 2010).

Diante disso, os peixes são vistos como excelentes indicadores das condições ambientais, pois podem refletir os distúrbios em diversas escalas, devido a diversos aspectos e sua posição na cadeia trófica (FREITAS; SIQUEIRA-SOUZA, 2009). A

grande variedade de formas, cores e diferentes tipos de locomoção são um reflexo da sua grande diversidade ecológica (BEMVENUTI; FISCHER, 2011).

Os defensivos agrícolas causam uma grande variedade de danos que podem ser observados nos peixes. Alterações histológicas e morfológicas na estrutura óssea, no fígado, nos rins e em outros órgãos, como as brânquias, são alguns deles. Porém, são as lesões e necroses em tecidos, que têm sido os principais danos observados em muitas pesquisas (MELETTI, 2003).

Dessa forma, a utilização de peixes como bioindicadores de qualidade ambiental aquática se apresenta como uma alternativa eficaz, já que estes são bastante sensíveis a presença de agentes tóxicos, apresentando mudanças comportamentais e falhas nos órgãos internos que podem ser observadas e estudadas, o que ressalta ainda mais a sua importância na prevenção de impactos ambientais causados pelo uso dos agrotóxicos no ecossistema.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área de estudo

O estudo possui licença do Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO (80968-1/2021), da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais – SEMA (A01-2022) e aprovação no Comitê de Ética em Pesquisa Animal da Universidade Federal do Maranhão - CEUA/UFMA (05/2022).

Para o experimento, foram selecionadas três principais áreas de interesse ao redor da bacia do rio Parnaíba, nas proximidades do município de Tasso Fragoso- MA para a coleta das amostras: Brejo Seco (A1), Zona Urbana (A2) e Brejo do Meio (A3), conforme mostra a Figura 1. Os pontos foram estrategicamente selecionados devido à influência de áreas agrícolas em suas proximidades, ou de residências rurais, fatores que podem interferir na qualidade da água do rio, visto os cursos d'água que passam pela área e desaguam no rio.

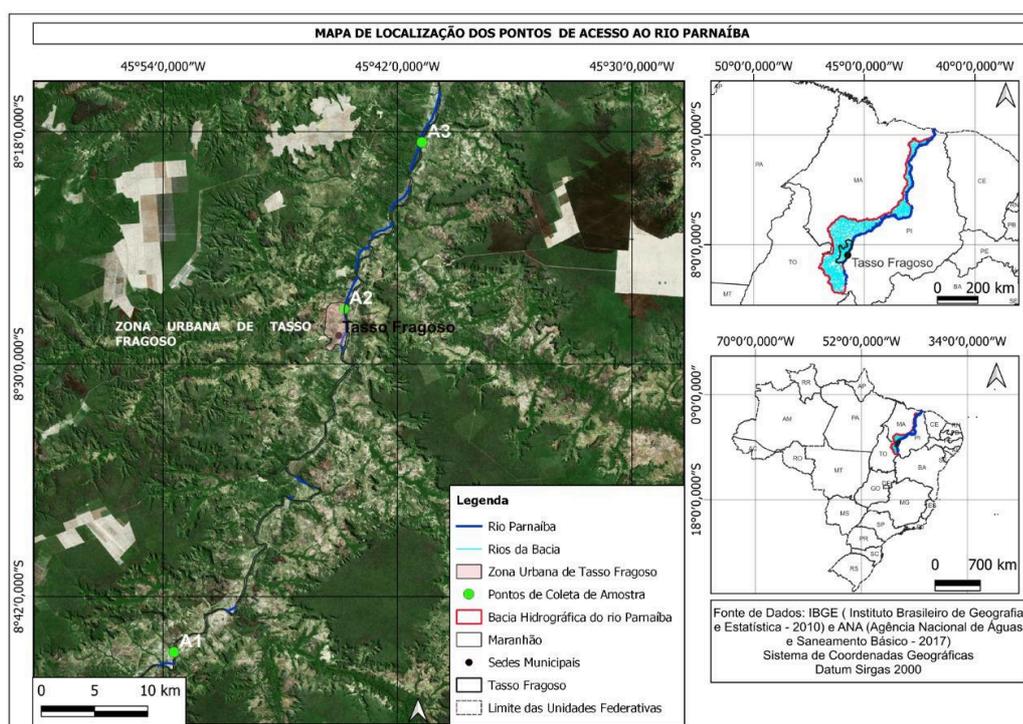


Figura 1 - Mapa de Localização dos três pontos de coleta ao longo do Rio Parnaíba, Tasso Fragoso- MA.

3.2 Coleta dos exemplares de peixes

Foram capturados ao todo 30 exemplares de mandi *Pimelodus* sp. em três pontos distintos (A1, A2 e A3) da bacia hidrográfica do rio Parnaíba entre os dias 12 e 14 de julho de 2022 no período manhã, sendo dez (10) peixes para cada ponto. Para isso foram utilizadas as seguintes artes de pesca: tarrafa, anzol e linha. Paralelamente à captura dos peixes foram aferidos os seguintes dados abióticos com auxílio de um multiparâmetro: temperatura, pH, oxigênio dissolvido e alcalinidade, em cada ponto de coleta dos peixes.

Após a captura os animais foram acondicionados em sacos plásticos e colocados em caixas de isopor com gelo para posteriormente serem tomadas as medidas biométricas, tais como: comprimento total (CT), comprimento padrão (CP), comprimento furcal (CF) em cm e peso total (PT) em g (Figura 2).

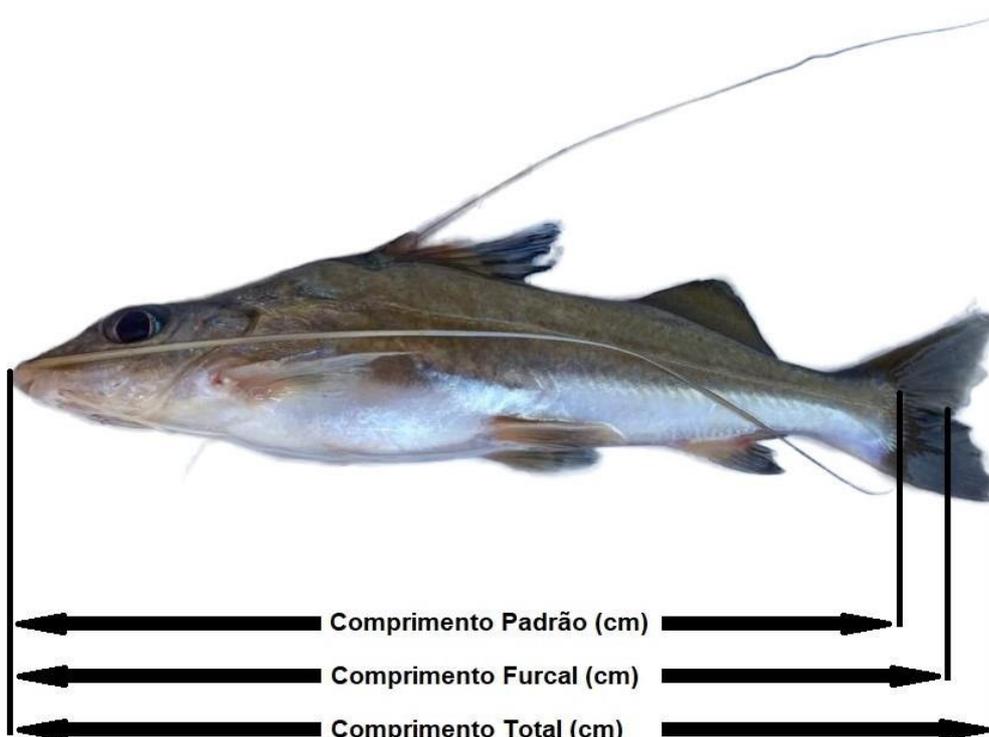


Figura 2 – Tipos de medições dos comprimentos dos *Pimelodus* sp.

Depois das pesagens e medições, os animais foram anestesiados com benzocaína a 0,1% e, posteriormente, sacrificados via deslocamento cervical para

retiradas das brânquias de cada exemplar, os quais foram fixados em formol a 10% e mantidos em álcool 70% até o processamento histológico usual.

3.3 Análise histológica

O primeiro arco branquial direito de cada exemplar de *Pimelodus* sp. 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 e quantificação das alterações foi realizada em microscópio óptico utilizando-se as objetivas 10x, 40x e as lesões encontradas e foram microfotografadas em microscópio óptico. 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. As alterações foram classificadas em fases progressivas de danos nos tecidos: alterações de estágio I, que não comprometem o funcionamento do órgão; de estágio II, mais severas e que prejudicam o funcionamento normal do órgão; e de estágio III, muito severas e irreversíveis conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Alterações histológicas observadas nas brânquias de *Pimelodus* sp., coletados em três pontos do Rio Parnaíba, Tasso Fragoso-MA. A classificação é de acordo com Poleksic & Mitrovic-Tutundzic modificado (1994), com 3 estágios de gravidade (I, II e III).

Lesões Histológicas Branquiais	Estágio
Deslocamento do epitélio Congestão Hiperplasia	I
Fusão das lamelas Hemorragia	II
Aneurisma lamelar	III

Para cada brânquia, foi calculado o valor do IAH através da equação abaixo:

$$\text{IAH} = 1 \times \Sigma \text{ I} + 10 \times \Sigma \text{ II} + 100 \times \Sigma \text{ III}$$

Em que I, II e III correspondem respectivamente ao número de alterações de estágio I, II e III.

O valor médio do IAH foi calculado e categorizado conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Categorias de IAH de acordo com Poleksic & Mitrovic-Tutundzic modificado (1994).

IAH	Indicativo
0 - 10	Funcionamento normal do tecido
11 - 20	Danos leves a moderados no tecido
21 - 50	Danos moderados a severos no tecido
51 - 100	Danos severos no tecido
>100	Danos irreparáveis no tecido

3.4 Análise estatística

Os dados foram obtidos por meio da média e desvio padrão da média e foram testados quanto à distribuição de normalidade e homoscedasticidade antes das análises. Quando atendidas as premissas, os dados foram comparados por meio de uma Anova-one way (alterações x pontos de coleta) com 95% de intervalo de confiança. Todas as análises e gráficos foram realizados no software GraphPad Prism versão 5.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características físico-químicas da água

Foram realizadas análises físico-químicas das águas dos pontos de coleta, conforme disposto na Tabela 3, onde aferimos os seguintes parâmetros: Temperatura (T), pH, Oxigênio Dissolvido (OD), Condutividade e Sólidos Totais Dissolvidos (STD).

Tabela 3 – Dados abióticos coletados em três pontos de coleta de *Pimelodus* sp. ao longo do Rio Parnaíba, Tasso Fragoso- MA.

Parâmetros	Brejo Seco (A1)	Zona Urbana (A2)	Brejo do Meio (A3)	Valores Recomendados
T (°C)	24,2	25,2	24,4	28 - 32°C ^a
pH	7,64	7,5	7,46	6,5-8,0 ^a
OD	8,5	9,1	8,4	>5 mg/L ^a
Condutividade (µS/cm)	8,915	9,3	9,2	-
STD (ppm)	2,8	3	3	-

^a Resolução CONAMA nº357/2005

Os resultados dos dados abióticos estão de acordo com a Resolução CONAMA 357 de 2005, exceto os valores de temperatura que estão abaixo do recomendado para todos os pontos avaliados.

A temperatura pode influenciar nas atividades fisiológicas dos peixes como respiração, digestão, reprodução e alimentação. Cada organismo possui limites de tolerância superior e inferior, limites de temperatura para migração, desova e incubação de ovos, e uma faixa de temperaturas ótimas para o crescimento (Rebouças et al., 2014). A temperatura pode ainda ser um dos fatores desencadeadores da determinação sexual em peixes, onde existe a redução na razão entre machos e fêmeas à medida que diminui a temperatura como consequência da diferenciação ovariana por baixas temperaturas (RIBEIRO; MOREIRA, 2012).

Neste estudo, as temperaturas da água dos três pontos avaliados estão abaixo dos valores recomendados pela resolução CONAMA 357/2005, e pode influenciar de alguma maneira na fisiologia do organismo. Todavia, estudos mais aprofundados

sobre os limites térmicos na espécie precisam ser avaliados, para compreender os reais efeitos desse parâmetro sobre a fisiologia, comportamento e reprodução da espécie em questão.

4.2 Dados biométricos

Foram analisados 30 espécimes de mandi *Pimelodus* sp., sendo 10 amostras de cada ponto de coleta. De cada indivíduo aferiu-se o comprimento total (LT), comprimento padrão (LP), comprimento Furcal (CF) e peso total (PT), a média e desvio padrão não sendo observada diferença para os parâmetros avaliados entre os pontos de coleta ($p > 0.05$) (Tabela 4).

Tabela 4 – Dados biométricos de *Pimelodus* sp. coletados em três pontos do Rio Parnaíba, Tasso Fragoso- MA.

Parâmetros	Média ± Desvio-padrão		
	Brejo Seco (A1)	Zona Urbana (A2)	Brejo do Meio (A3)
LT (cm)	16,38 ± 1,97	17,25 ± 0,96	17,00 ± 1,21
LP (cm)	13,82 ± 2,03	14,94 ± 0,91	14,66 ± 1,17
CF (cm)	14,93 ± 2,12	15,9 ± 0,74	15,51 ± 1,24
PT (g)	47,48 ± 2,39	52,7 ± 8,32	42,27 ± 8,75

4.3 Biomarcadores histológicos em brânquias de *Pimelodus* sp.

Nas lâminas de brânquias de *Pimelodus* sp. analisadas observou-se as seguintes alterações: deslocamento epitelial, aneurisma, hiperplasia celular e fusão lamelar (Figura 3).

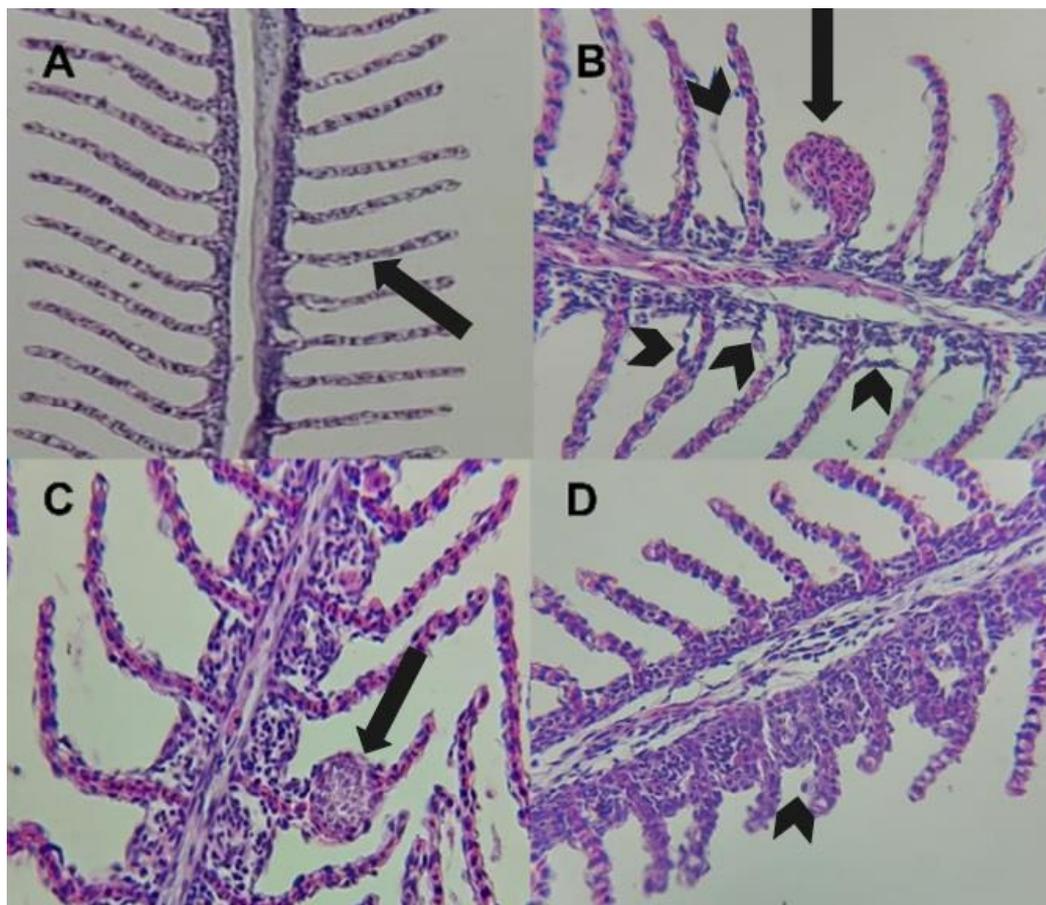


Figura 3 - Alterações branquiais em brânquias de *Pimelodus* sp. coletados em três pontos do Rio Parnaíba. Onde: A) Lamelas normais (seta); B) Deslocamento do epitélio lamelar (▲) e Aneurisma (seta); C) Aneurisma (seta); e D) Fusão lamelar parcial (▲).

Em relação as frequências das alterações branquiais em *Pimelodus* sp., não houve diferença na frequência das lesões deslocamento do epitélio, congestão e hiperplasia em nenhum dos pontos avaliados, todavia, pôde-se observar uma tendência de aumento das lesões em peixe capturados próximos ao ponto A2 de Tasso Fragoso, e ainda, foi observada diferença significativa na lesão do tipo aneurisma em peixes capturados na A2 ($p < 0.05$) em relação aos demais pontos (Figura 4).

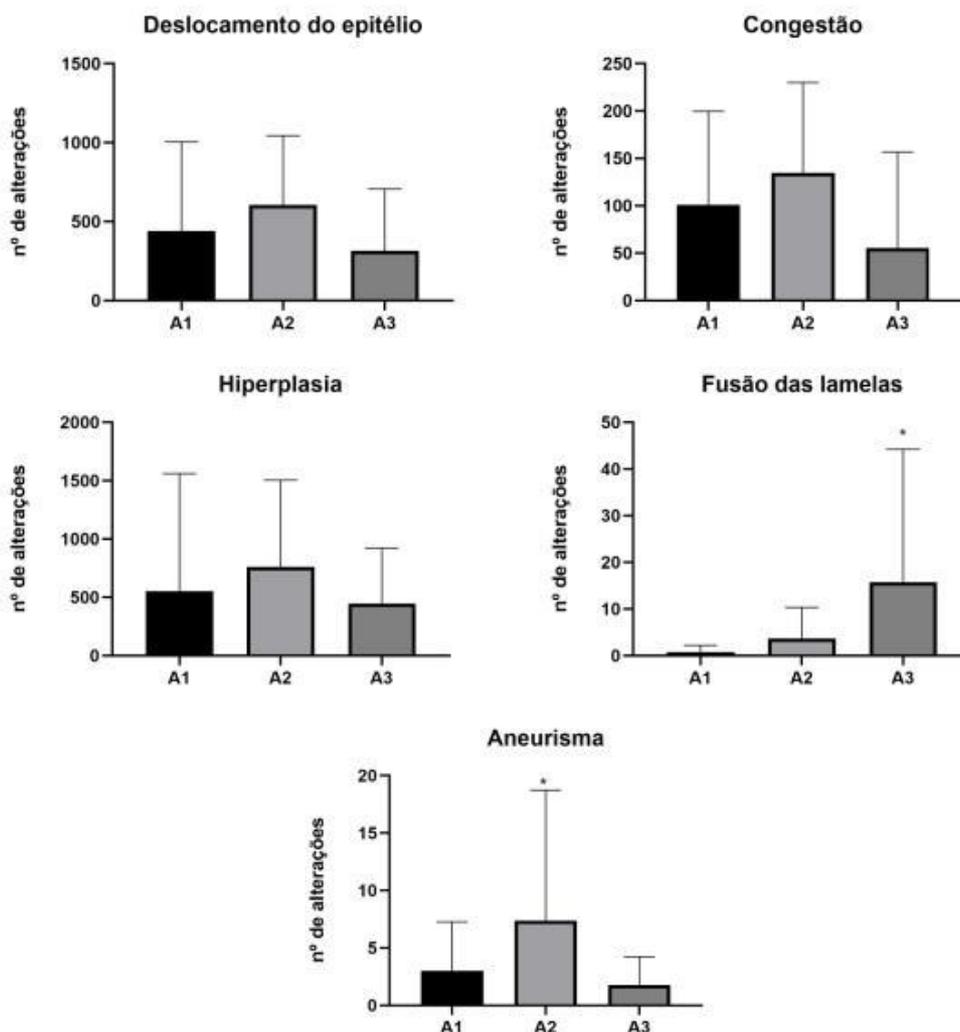


Figura 4 - Frequência de alterações branquiais de *Pimelodus* sp. coletados em três pontos do Rio Parnaíba, Tasso Fragoso- MA. Asterisco indica diferença significativa entre os pontos de coleta.

O exame dos epitélios branquiais evidenciou lesões nos três estágios de severidade, sendo que as mais frequentes foram congestão vascular, deslocamento do epitélio lamelar e aneurisma, todas mais frequentes no ponto A2.

Alterações branquiais em estágio I, são exemplos de mecanismos de defesa que resultam no aumento da distância entre o ambiente externo e o sistema sanguíneo, formando uma barreira contra a entrada de contaminantes, mas podem ser reversíveis em caso de melhoria das condições ambientais (POLEKSIC; MITROVIC-TUTUNDZIC, 1994; FERNANDES; MAZON, 2003).

A identificação de aneurisma lamelar (lesão do estágio III) em exemplares de *Pimelodus* sp., indica um colapso do sistema de células pilares, com prejuízo na

integridade vascular e risco de hemorragia devido à ruptura do epitélio (HINTON et al., 1990). Segundo Poleksic e Mitrovic–Tutundizic (1994), as mudanças nas estruturas das brânquias de peixe podem ser usadas para monitorar os efeitos subletal e crônico de poluentes.

As alterações histopatológicas são bem representadas pelo índice de alteração histológico (IAH), que neste estudo variou de 1 a 110, tendo a média igual a 35,22, demonstrando que as brânquias de *Pimelodus* sp. apresentaram alterações teciduais variando do nível mais brando ao mais severo (Figura 5).

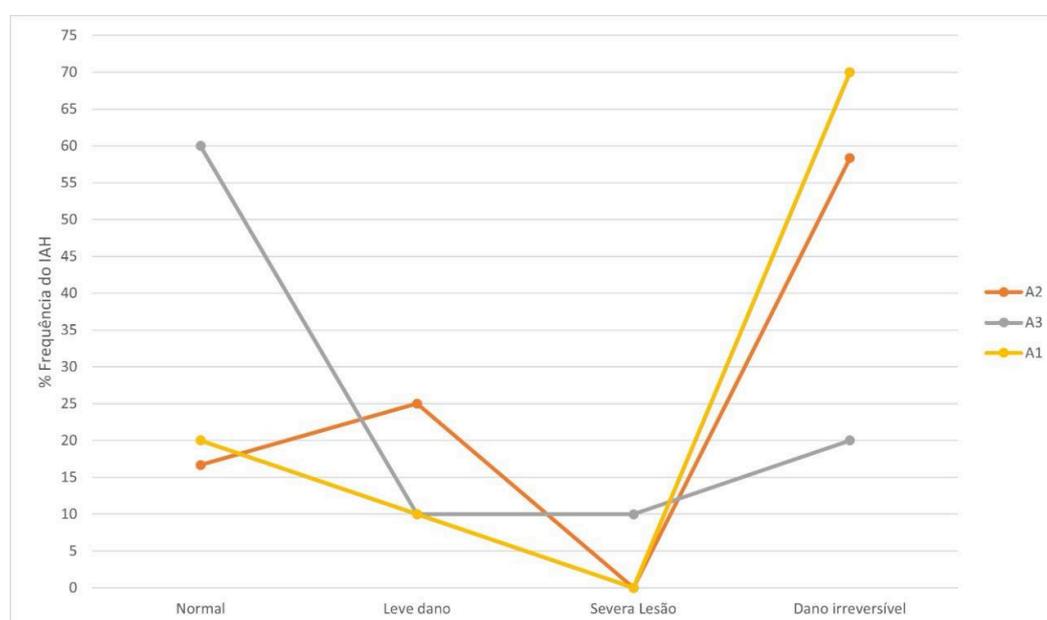


Figura 5. Índice de alterações em *Pimelodus* sp. capturados em três pontos do Rio Parnaíba, Tasso Fragoso- MA

Os valores de IAH apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) para os peixes coletados em A2 em relação aos demais pontos. Os menores índices foram contabilizados no ponto A1, com o predomínio de grau de severidade normal, contrastando com os resultados da área de A2, maiores índices e graus de severidade irreversíveis.

Os resultados apresentados indicam a necessidade de um monitoramento mais efetivo da região, buscando identificar as fontes pontuais e as possíveis fontes difusas de contaminação, visando um controle e conseqüente minimização dos riscos aos organismos dessa região.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram identificadas alterações em todos os graus de severidade para os peixes coletados no Rio Parnaíba. As alterações identificadas possibilitaram a validação de lesões brânquias de *Pimelodus* sp. como biomarcadores que podem ser utilizados para o biomonitoramento na região de Tasso Fragoso-MA.

A alta frequência de alterações branquiais identificadas em peixes coletados nas proximidades da Zona Urbana de Tasso Fragoso (ponto A2) indica que provavelmente os organismos dessa região estão sofrendo uma maior influência de compostos tóxicos oriundos das atividades domésticas ou pela utilização de pesticidas nessa localidade.

Recomenda-se para trabalhos futuros a análise histológica de outros tecidos de órgãos dos *Pimelodus* sp. e estudos mais detalhados acerca da concentração de pesticidas na água e no solo.

REFERÊNCIAS

- BACIA do Parnaíba abriga 4,8 milhões de pessoas, 279 municípios e três diferentes biomas. **Codevasf**, 2022. Disponível em: <
<https://www.codevasf.gov.br/noticias/2014/bacia-do-parnaiba-abriga-4-8-milhoes-de-pessoas-279-municipios-e-tres-diferentes-biomas> >. Acesso em: 21 de nov. de 2022.
- BEMVENUTI, M. A.; FISCHER, L. G. **Peixes: morfologia e adaptações**. Cadernos de Ecologia Aquática 5 (2): 31-54, ago – dez 2010. Disponível em:<
https://www.researchgate.net/publication/242331096_Peixes_Morfologia_e_Adaptacoes >. Acesso em: 07 out. 2022.
- BERNET, D.; SCHIMIDT, H.; MEIER, W.; BURKHRADT-HOLM, WHALI, T. Histopatology in fish: proposal for a protocol to assess aquatic pollution. **Journal Fishery Diseases**, n. 22, p. 25-34, 1999.
- BRASIL. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em:<
https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcdaltrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf >. Acesso em: 16 nov. 2022.
- CANUTO, T. G.; GAMA, A. F.; BARRETO, F. M. de S.; ALENCAR NETO, M. da F. A. Estimativa do risco potencial de contaminação por pesticidas de águas superficiais e subterrâneas do município de Tianguá-CE, com aplicação do método de GOSS e índice de GUS, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16.; ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 17., 2010, São Luís. **Anais** [...] São Luís: ABAS, 2010. p. 01-20. Disponível em:<
<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23083>>. Acesso em: 07 out. 2022.
- FARAGE, J. A.; MATOS, A. T.; SILVA, D. D.; BORGES, A. C. Determinação do índice de estado trófico para fósforo em pontos do rio Pomba. **Engenharia na Agricultura**, v. 18, n. 4, p. 322-329, 2010.

Fernandes, M. N., Mazon, E. A. F. Environmental pollution and fish gill morphology. In: Val AL, Kapoor BG (eds) Fish adaptations. Science Publishers, 1ª ed. Canadá, pp 203-231, 2003.

FREITAS, C. E. C.; SIQUEIRA-SOUZA, F. K. O uso de peixes como bioindicador ambiental em áreas de várzea da bacia amazônica. **Revista Agrogeoambiental**, v. 1, n. 2, p. 39-45, 2009.

GURGEL, A. M. Impactos Dos Agrotóxicos Na Saúde Humana. In: GREENPEACE BRASIL. **Agricultura Tóxica: um olhar sobre o modelo agrícola brasileiro**. Greenpeace Brasil, 2017. Disponível em: <<http://greenpeace.org.br/agricultura/agricultura-toxica.pdf>>. Acesso em: 07 out. 2022.

HENN, C. **Seleção de linhagens de basidiomicetos resistentes aos herbicidas atrazina e diuron: produção de enzimas lignolíticas e degradação dos compostos**. 110 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. São José do Rio Preto, 2009.

HIBIYA, T. **An atlas of fish histology: normal and pathological features**. New York: Kodansha Tokio, 147p. 1982.

HIDROVIA do Parnaíba. **gov.br**, 2018. Disponível em: <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/aquaviario/old/hidrovia-do-parnaiba>>. Acesso em: 21 de nov. de 2022.

HINTON, D. E.; LAUREN, D. J.; HOLLIDAY, T. L.; GIAM, C. S. (1990) Liver structural alterations accompanying chronic toxicity in fishes: potential biomarkers of exposure. In: Mcarthy JF, Shugart LR (eds). Biomarkers of Environmental Contamination. Crc Press, Boca Raton Lewis Publishers, 1ª ed. Flórida, pp 51-65.

HUGGETT, R. J.; UNGER, M. A.; SELIGMAN, P. F.; VALKIRIS, A. O. The marine biocide tributyltin: assessing and managing the environments risks. **Environmental Science & Technology**, v. 26, n. 2, p. 232-237, 1992.

INOUE, M. H.; MENDES, K. F.; SANTANA, C. T. C.; POSSAMAI, A. C. S. Atividade residual de herbicidas pré-emergentes aplicados em solos contrastantes. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 3, p. 232-242, 2011.

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. 680-693, 2008.

LEONZIO, C.; FOSSI, M. C. Nondestructive biomarkers strategy: perspectives and applications. Pp. 297- 312. In: FOSSI, M. C.; LEONZIO, C. (eds.). Nondestructive biomarkers in vertebrates. London: Lewis Publ., 1993. 368p.

LINS, J. A. P. N.; KIRSCHNIK, P. G.; QUEIROZ, V. S.; CIRIO, S. M. **Uso de peixes como biomarcadores para monitoramento ambiental aquático**. Rev. Acad., Ciências Agrárias e Ambientais, v. 8, n. 4, p. 469- 484, out./dez. 2010. Disponível em:<

https://www.researchgate.net/publication/285661321_Uso_de_peixes_como_biomarcadores_para_monitoramento_ambiental_aquatico_Revista_Academica>; Acesso em: 06 out. 2022.

MELETTI, P. C. **Avaliação da degradação ambiental por meio de testes de toxicidade com sedimento e de análises hispatológicas em peixes**. 2003.

Dissertação (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação da Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2003. Disponível em:<

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-02082016-121212/pt-br.php>>. Acesso em: 06 out. 2022.

MORAES, D. S. L. **Avaliação dos potenciais tóxico, citotóxico e genotóxico de águas ambientais de Corumbá-MS em raízes de *Allium cepa***. 2000, 158 f.

Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2000.

NOGUEIRA, D. J.; CASTRO, S. C.; SÁ, O. 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** v. 1, n. 1, (2008).

OLIVEIRA RIBEIRO, C. A., FILIPAK NETO, F., MELA, M., SILVA, P. H., RANDI, M. A. F., RABITTO, I. S., ALVES COSTA, J. R. M., PELLETIER, E. 2006.

Hematological findings in neotropical fish *Hoplias malabaricus* exposed to subchronic and dietary doses of methylmercury, inorganic lead, and tributyltin chloride.

Environmental Research, v. 101, n. 1, p. 74- 80, 2006.

PAYNE, J. F.; FANCEY, L. L.; RAHIMTULA, A. D.; PORTER, E. L. Review and perspective on the use of mixed-function oxygenase enzymes in biological monitoring. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 86, n. 2. p. 233-245, 1987.

PERFIL da Agricultura Maranhense 2021. **Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária e Pesca - SAGRIMA**, 2021. Disponível em: <
<https://sigite.sagrима.ma.gov.br/perfil-da-agricultura-ma/>>. Acesso em: 21 de nov. de 2022.

Poleksic, V., Mitrovic-Tutundzic, V. Fish gills as a monitor of sublethal and chronic effects of pollution. In: Müller, R., Lloyd, R. (Eds), *Sublethal and Chronic effects of Pollutants on Freshwater Fish*. Cambridge: Cambridge Univ. Press., pp. 339–352, 1994.

REBOUÇAS, P. M.; LIMA, L. R.; DIAS, I. F.; BARBOSA FILHO, J. A. D. Influência da oscilação térmica na água da piscicultura. **J Anim Behav Biometeorol**, v.2, n.2, p.35-42, 2014.

RIBEIRO, C. S.; MOREIRA, R. G. fatores ambientais e reprodução dos peixes. *Revista da Biologia* (2012) 8: 58-61.

RODRIGUES, G. S. Agrotóxicos e contaminação ambiental no Brasil. In: CAMPANHOLA, Clayton.; BETTIOL, Wagner. **Métodos alternativos de controle fitossanitário**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003.

SAAT, K. C. O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 56 (2), 2018.

SALEH, M. A. Identification and quantitative determination of chlorinated pesticides. **Journal Environmental Science Health**, v.17, n.1, p. 35-42, 1982.