

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS -UFAL
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CECA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

MARIANA FONSECA CAVALCANTE

**FREQUÊNCIA DE ANORMALIDADES NUCLEARES EM ESPÉCIES DE
PEIXES DO BAIXO RIO SÃO FRANCISCO**

Rio Largo - AL

2024

MARIANA FONSECA CAVALCANTE

**FREQUÊNCIA DE ANORMALIDADES NUCLEARES EM ESPÉCIES DE
PEIXES DO BAIXO RIO SÃO FRANCISCO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Zootecnia da
Universidade Federal de Alagoas, como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharelado em Zootecnia.

Orientadora: Profa. Dra. Themis de Jesus
da Silva.

Rio Largo - AL

2024

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

C376f Cavalcante, Mariana Fonseca

Frequência de anormalidades nucleares em espécies de peixes do
Baixo Rio São Francisco. / Mariana Fonseca Cavalcante – 2024.
33f.; il.

Monografia de Graduação em Zootecnia (Trabalho de Conclusão
de Curso) – Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias
e Ciências Agrárias. Rio Largo, 2024.

Orientação: Dra. Themis de Jesus da Silva

Inclui bibliografia

1. Bioindicadores. 2. Xenobióticos. 3. Psicultura. I. Título

CDU:591.2

Folha de Aprovação

MARIANA FONSECA CAVALCANTE

FREQUÊNCIA DE ANORMALIDADES NUCLEARES EM ESPÉCIES DE PEIXES DO BAIXO RIO SÃO FRANCISCO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Zootecnia em 9 de setembro de 2024.

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **THEMIS DE JESUS DA SILVA**
Data: 10/09/2024 18:34:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientadora – Dra. Themis de Jesus da Silva (UFAL)

Documento assinado digitalmente
 **ELTON LIMA SANTOS**
Data: 10/09/2024 18:20:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador Interno – Dr. Elton Lima Santos (UFAL)

Documento assinado digitalmente
 **PRISCYLLA COSTA DANTAS**
Data: 10/09/2024 17:54:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinadora Externa - Dra. Priscylla Costa Dantas (UFRPE)

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho significa o próximo passo para o início de algo grande em minha vida. E isso não seria possível sem o apoio de pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para realização desse sonho. Agradeço primeiramente a Deus por me permitir concluir este trabalho. Agradeço a minha mãe por todo apoio e esforço, e ao meu pai que mesmo, in memoriam, se faz presente em minha vida.

Agradeço ao meu irmão e a todos os membros da minha família que torcem pela conclusão do curso. Ao meu namorado por todo apoio e incentivo nesse fim da graduação. E ao meu filho que me dá forças todos os dias para continuar.

Meu agradecimento aos colegas de laboratório e pesquisa, Edmara e Alexandre, por todas as informações compartilhadas. A minha orientadora professora Themis de Jesus, por me acompanhar e auxiliar em todo o processo desde o estágio até a conclusão do curso.

E por fim, aos meus amigos que conheci durante a graduação, Máyra Heloísa, Vitoria Regina, João Bezerra e Cinthya Pacheco, que tornaram os dias mais leves, com todas as conversas, resenhas e trabalhos em grupo.

RESUMO

A região do baixo São Francisco percorre cidades dos Estados de Alagoas e Sergipe, sendo de grande importância para o desenvolvimento de ambos estados. As atividades antrópicas como o uso de agrotóxicos nas plantações ao longo do rio, o despejo de esgoto sem tratamento das cidades à sua margem, e as mudanças de vazões, afetam diretamente esse ecossistema. Essas atividades contribuem para o aumento de xenobióticos nesse ambiente, refletindo na qualidade da água e nos organismos expostos, levando a redução da diversidade de espécies, da sua capacidade reprodutiva e imune, e até alterando o material genético. Portanto, é essencial avaliar a saúde desse corpo hídrico. O presente estudo utilizou três espécies de peixes: o pacu (*Metynnis maculatus*), a pirambeba (*Serrasalmus brandtii*) e o piau-três-pintas (*Megaleporinus obtusidens*), coletadas em três municípios do baixo São Francisco durante a VI Expedição Científica, e por meio do Teste de Micronúcleo, foram analisadas as anormalidades nucleares eritrocitárias (ANEs). Os resultados mostraram que o município de Propriá (7,51%) apresentou a maior frequência de ANEs, seguido de Piranhas (6,27%) e Piaçabuçu (2,76%) com a menor frequência. Na análise dos micronúcleos (MN) o município de Piranhas (1,73%) apresentou a maior frequência. Entre as espécies, o *Metynnis maculatus* (pacu) se destacou com a maior frequência de anormalidades e de micronúcleos, sendo significativamente diferente das demais espécies. A *Serrasalmus brandtii* (pirambeba) apresentou a segunda maior frequência de anormalidades, enquanto o *Megaleporinus obtusidens* (piauí-três-pintas) apresentou a segunda maior frequência de micronúcleos. Portanto, a utilização dos peixes como bioindicadores da qualidade da água do rio São Francisco é de grande importância e, podem servir para implementações de políticas públicas com o objetivo de melhorar a saúde do rio, dos peixes, e das populações que dependem desse recurso tanto para subsistência, quanto para o transporte, turismo, entre outros.

Palavras-chave: Anomalias; bioindicadores; xenobióticos.

ABSTRACT

The lower São Francisco region runs through cities in the states of Alagoas and Sergipe, being of great importance for the development of both states. Anthropogenic activities such as the use of pesticides on plantations along the river, the dumping of untreated sewage from cities on its margins, and changes in flows directly affect this ecosystem. These activities contribute to the increase of xenobiotics in this environment, reflecting on the quality of the water and exposed organisms, leading to the reduction of the diversity of species, their reproductive and immune capacity, and even altering the genetic material. Therefore, it is essential to evaluate the health of this water body. The present study used three species of fish: the pacu (*Metynnis maculatus*), the pirambeba (*Serrasalmus brandtii*) and the piau-três-pintas (*Megaleporinus obtusidens*) collected in three municipalities of the Lower São Francisco during the 6th Scientific Expedition as bioindicators, and by using the Micronucleus Test, the erythrocyte nuclear abnormalities (ANEs) were analyzed. The results showed that the municipality of Propriá (7.51%) had the highest frequency of ANEs, followed by Piranhas (6.27%) and Piaçabuçu (2.76%) with the lowest frequency. In the analysis of micronuclei (MN), the municipality of Piranhas (1.73%) had the highest frequency. Among the species, *Metynnis maculatus* (pacu) stood out with the highest frequency of abnormalities and micronuclei, being significantly different from the other species. *Serrasalmus brandtii* (pirambeba) presented the second highest frequency of abnormalities, while *Megaleporinus obtusidens* (piautrês-pintas) presented the second highest frequency of micronuclei. Therefore, the use of fish as bioindicators of the water quality of the São Francisco River is of great importance and can serve for the implementation of public policies with the aim of improving the health of the river, the fish, and the populations that depend on this resource both for subsistence, transportation, tourism, among others.

Keywords: Anomalies; bioindicators; xenobiotics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Municípios onde foram realizadas as coletas: Piranhas (1), Propriá (2) e Piaçabuçu (3)	19
Figura 2	– Espécies utilizadas para a análise de genotoxicidade: <i>Metynnis maculatus</i> (A), <i>Serrassalmus brandtii</i> (B), <i>Megaleporinus obtusidens</i> (C)	21
Figura 3	– Frequência (%) das anormalidades nucleares eritrocitárias (ANEs) nos municípios.....	22
Figura 4	– Gráfico Bloxpot da Análise de Variância (ANOVA), % ANEs nos municípios	25
Figura 5	– Frequência (%) de ANEs e MN observadas nas espécies alvo	26
Figura 6	– Fotomicrografia de eritrócito de piauí do município de Propriá, apresentando MN	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Espécies coletadas nos municípios visitados e utilizadas para as análises de genotoxicidade	21
Tabela 2 – Frequência (%) de anormalidades nucleares eritrocitárias (ANEs) nos municípios: Piranhas (PI), Propriá (PR) e Piaçabuçu (PU).....	22
Tabela 3 – Frequência de micronúcleo nas cidades analisadas, por meio do teste de Tukey a 95%	24
Tabela 4 – Frequência de anormalidades (ANEs) nas cidades analisadas, por meio do teste de Tukey a 95%	25
Tabela 5 – Frequência de Micronúcleo entre as espécies analisadas, por meio do teste de Tukey a 95%	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Rio São Francisco: características, importância e desafios enfrentados	16
2.2	Espécies estudadas	17
2.3	Genotoxicidade	17
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1	Coleta das espécies e das amostras	19
3.2	Genotoxicidade – Teste de micronúcleo.....	19
3.3	Análise Estatística	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1	Espécies avaliadas	21
4.2	Frequência de anormalidades nucleares eritrocitárias (ANEs) nas cidades	22
4.3	Frequência de ANEs nas espécies	25
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
	REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

O Rio São Francisco, é o quarto maior rio do Brasil e da América do Sul, com uma extensão 2.863 km e uma área de drenagem de mais de 639.219 km². Estende-se desde Minas Gerais, onde o nasce, até o Oceano Atlântico, onde deságua, na divisa dos estados de Alagoas e Sergipe. A bacia hidrográfica do Rio São Francisco corresponde a 7,5% do território nacional e é dividida em quatro unidades hidrográficas: alto, médio, submédio e baixo São Francisco (ANA, 2015).

O São Francisco possui grande importância econômica para o Brasil, entre as atividades desenvolvidas destacam-se indústrias, agroindústrias e zonas extrativas no alto, médio e submédio e os polos agroindustriais de grãos e fruticultura em Petrolina/PE e Juazeiro/BA (ROSA, 2019). Enquanto, no baixo, a economia está fortemente vinculada à agropecuária e à pesca tradicional. Com a diminuição dos peixes em todas as regiões do rio, sobretudo na região do baixo, ocorre o agravamento das condições socioambientais nesta região (MARQUES; TOMÁZ, 2015).

A geração de energia é outra importante atividade que impacta este corpo hídrico, em todo Rio São Francisco existem nove hidrelétricas, sendo Paulo Afonso e Xingó as mais próximas da região do baixo São Francisco (CBHSF, 2020), que são vitais para a qualidade de vida das pessoas e para o desenvolvimento econômico, mas que podem gerar danos ambientais irreversíveis.

Embora tenha importância econômica, social e ambiental, muitos impactos negativos são comuns em toda a sua extensão (SAMPAIO et al., 2015). Dentre os principais desafios identificados na bacia estão a redução das vazões, o desmatamento dos biomas, a alta intensidade da exploração de suas águas subterrâneas, os processos erosivos decorrentes do mau uso dos solos e consequentemente assoreamento do rio e de seus afluentes, a lenta e precária implantação dos instrumentos da gestão hídrica pelo poder público (CBHSF, 2020).

Todas as atividades antrópicas, como as mencionadas acima, geram dejetos que são descartados de forma inadequada nos ecossistemas aquáticos, nesses dejetos são encontradas substâncias incomuns, chamadas de xenobióticos, que abrangem uma variedade de compostos químicos, desde metais pesados, petróleo, agrotóxicos, medicamentos a matéria orgânica (TROLLY, 2019). Os xenobióticos afetam diretamente o ecossistema aquático, alterando as características físico-químicas, e expondo os organismos a diminuição da sua diversidade, reprodução e capacidade imune, podendo levar ao envenenamento e lesões no material genético (TROLLY, 2019).

Os ambientes aquáticos encontram-se expostos à pressão contínua proveniente das

atividades antrópicas, o monitoramento destes é essencial para criação de medidas para manutenção do seu estado natural (ZALEWSKA; DANOWSKA, 2017). Para realizar este monitoramento são utilizados os bioindicadores como os peixes, que têm sido escolhidos com frequência pela exposição e reação as mudanças que ocorrem no ambiente aquático, e biomarcadores, que podem ser genéticos, bioquímicos e histológicos (JESUS; CARVALHO, 2008). Reynolds et al. (2003), sugerem o uso integrado de biomarcadores e bioindicadores como uma ferramenta eficaz na avaliação do impacto da poluição no ambiente aquático.

Os peixes são comumente usados como organismos bioindicadores devido seu papel na cadeia alimentar, nutrição humana, potencial de bioacumulação e biomagnificação de substâncias tóxicas e sua sensibilidade a baixas concentrações de mutagênicos (DEUTSCHMANN et al., 2016). Estes ocupam diferentes níveis tróficos e podem refletir mudanças em diferentes níveis do ecossistema, além da alta mobilidade, rápida reprodução e importância socioeconômica. Sua fisiologia é bastante estudada o que é uma vantagem para o seu uso em experimentos tanto no ambiente aquático, quanto como modelo para entender o impacto de poluentes e outros fatores ambientais na saúde humana (TROLLY, 2019).

Uma técnica utilizada para identificar a presença de xenobióticos e seus efeitos nos organismos, é o teste do micronúcleo (MN), técnica rápida, confiável e de baixo custo. Este teste permite identificar mutações em células expostas a agentes genotóxicos. Além dos micronúcleos, outras anormalidades nucleares, como núcleo do tipo *blebbed*, *lobbed*, *notched*, têm sido avaliadas em estudos genotóxicos para testar a exposição dos organismos (CARRASCO et al., 1990). A ação nociva causada por estressores ambientais sobre uma determinada espécie é revelada por esse biomarcador, que pode estimar a magnitude dos danos, sendo importante para a avaliação dos impactos ambientais em uma zona ecologicamente afetada (LIONETTO et al., 2021), a exemplo da região do baixo São Francisco.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a genotoxicidade ambiental das águas do baixo Rio São Francisco, a partir da análise dos eritrócitos das espécies *Metynnis maculatus* (pacu), *Serrasalmus brandtii* (pirambeba) e *Megaleporinus obtusidens* (piauí-três-pintas) capturadas nos municípios de Piranhas (AL), Propriá (SE) e Piaçabuçu (AL).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Rio São Francisco: características, importância e desafios enfrentados

A bacia hidrográfica do Rio São Francisco é dividida em quatro unidades hidrográficas: alto, médio, submédio e baixo São Francisco (ANA, 2015). A unidade hidrográfica, conhecida como baixo São Francisco, abrange uma área que se estende do Município de Paulo Afonso-BA até a foz, entre Alagoas e Sergipe. É uma área altamente povoada e fortemente impactada pelas construções de barragens, poluição das cidades e remoção da cobertura vegetal nativa. Alguns municípios desta região apresentam um quadro socioeconômico negativo, com alguns dos piores IDHs (Índices de desenvolvimento humano) do Brasil (NOGUEIRA; SÁ, 2015).

O Rio São Francisco tem grande importância para o país, pelo volume de água, pelo potencial hídrico de aproveitamento e por sua contribuição histórica e econômica para a região (CBHSF, 2017). A interação do rio com ambientes diferentes ao longo do seu curso proporciona uma rica biodiversidade, diante disso, a exploração dos seus recursos se intensificaram. As possibilidades de aproveitamento dos recursos naturais característicos da Bacia do São Francisco geram riquezas, mas na mesma proporção acarretam graves problemas ambientais (TALLMAN; BENEDICTO, 2018).

Ao longo dos anos, o rio São Francisco sofreu modificações que desencadearam uma redução na produção pesqueira, isso devido principalmente ao uso inadequado do solo, sobrepesca, destruição de habitats, poluição e o barramento de suas águas (GODINHO; GODINHO, 2003). Grande parte da população ribeirinha utiliza o rio como fonte de subsistência, mas, com a poluição crescente, o desmatamento, o turismo intensivo e a construção de barragens, essas pessoas têm sofrido consequências drásticas, como a redução da quantidade de peixes, diminuição da vazão do rio, dificultando o tráfego por este meio (MARQUES; TOMÁZ, 2015).

A produção de energia através das barragens ao longo do seu curso gera consequências para as cidades na parte mais baixa do Rio, pois essas construções alteram o fluxo natural dos rios e a dinâmica da vida aquática, além de agravarem o assoreamento, prejudicando a navegação (TALLMAN; BENEDICTO, 2018).

A remoção da mata ciliar das margens dos rios é uma das ações que mais prejudicam os cursos d'água, ocasionando a impermeabilização e aumentando o processo de erosão do solo, cujos sedimentos são transferidos para os rios. Outra fonte de poluição é o lançamento de esgoto sem tratamento e o despejo de resíduos de metais pesados através de garimpos, mineradoras e indústrias (metais pesados) (TALLMAN; BENEDICTO, 2018).

2.2 Espécies estudadas

O pacu (*Metynnis maculatus* - Kner, 1858) tem sua distribuição na América do Sul, Bacia dos rios Amazonas, Paraguai e São Francisco. É uma espécie de água doce, pelágico tropical e migrador, se locomove nadando nas correntezas e contra elas. Apresenta o hábito alimentar onívoro, se alimentando de frutas, semente, algas e pequenos crustáceos (SOARES et al., 2022).

A pirambeba ou piranha-branca (*Serrasalmus brandtii* - Lütken, 1875) é uma espécie carnívora se alimentando de peixes (piscívora) e ocupando um nível alto na cadeia alimentar. Espécie de água doce, bentopelágico tropical, ou seja, pode ser encontrado tanto na superfície quanto no fundo do mar. É comum em desembarque pesqueiros e capturas no baixo São Francisco, sendo responsável por ataques a banhistas no baixo São Francisco (SOARES et al., 2022). Tanto a pirambeba como o pacu pertencem à família Serrasalminae (AZEVEDO-SANTOS et al., 2010).

O piau três pintas (*Megaleporinus obtusidens* - Valenciennes, 1837) é uma espécie onívora, se alimentando também de pequenos peixes (BALDISSEROTTO et al., 2005). Muito comum nas capturas, é um organismo de água doce, bentopelágico, e assim como o pacu, médio migrador (SOARES et al., 2022).

2.3 Genotoxicidade

A capacidade de algumas substâncias de induzir alterações no material genético dos organismos expostos, é denominada de genotoxicidade (MELO, 2015). Os agentes genotóxicos são aqueles que interagem com o DNA, alterando sua estrutura ou função, estes podem ser transmitidos aos seus descendentes aumentando os índices de doenças e afetando a biodiversidade (SILVA, 2009).

Em vertebrados superiores, acredita-se que a ligação de uma substância química ao DNA, seja o evento que desencadeia a cascata de mudanças bioquímicas que eventualmente levam à neoplasia e, em alguns casos, à malignidade (WEINSTEIN, 1988). Tumores malignos são incomuns em vertebrados inferiores (RUPPERT, 1993). Em contrapartida, o dano genético se manifesta por meio de um conjunto de alterações fisiopatológicas, conhecido como síndrome da doença genotóxica (KURELEC, 1993). Danos no DNA em organismos aquáticos podem causar desenvolvimento anormal, crescimento fraco e taxa de sobrevivência reduzida de embriões e adultos (LEE; STEINERT, 2003; THEODORAKIS et al., 2000).

Os peixes apresentam mecanismos de bioconcentração e biomagnificação, que lhes permitem acumular e transferir agentes químicos e poluentes ao longo da cadeia alimentar

(CICERO et al., 2014). Visto que os seres humanos estão expostos ao longo da vida a uma variedade de xenobióticos presentes tanto na água quanto em alimentos oriundos desse meio, organismos que possam indicar a ação genotóxica de poluentes aquáticos representam ferramentas cruciais para o diagnóstico ambiental (UDROIU, 2006). A avaliação dos efeitos genotóxicos é feita através de bioindicadores de toxicidade, estes podem ser definidos como a resposta biológica ao nível de indivíduo a um ambiente químico, que traduz a exposição a esse ambiente (SILVA, 2009). Nos ambientes aquáticos os organismos se expõem as substâncias tóxicas diretamente através do seu nível trófico e indiretamente pela sua alimentação, o que os tornam bons bioindicadores tanto para avaliação de áreas contaminadas, quanto para estudos de substância potencialmente genotóxicas (TROLLY, 2019).

Diversas técnicas têm sido utilizadas para análise dos danos genéticos causados pelas substâncias tóxicas, dentre elas, destaca-se o teste de micronúcleo e as alterações nucleares, por serem consideradas eficazes, confiáveis e de baixo custo (NASCIMENTO, 2018).

De acordo com Obiakor et al. (2012), micronúcleo é um biomarcador genético e, origina-se como resultado de aberrações cromossômicas, que podem ser irreversíveis e herdadas pelas progênes, sendo capaz de ocasionar diminuição na taxa reprodutiva dos animais, levando a uma diminuição da diversidade de espécies no ecossistema afetado.

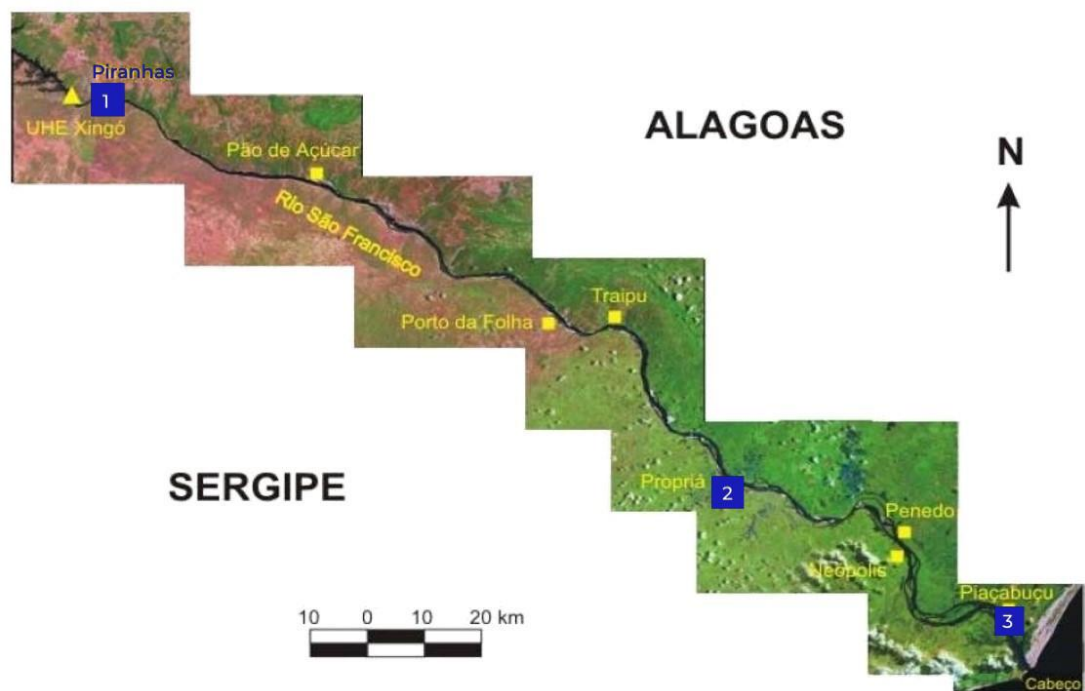
Os micronúcleos são formados a partir de células em divisão que contêm quebras cromossômicas, fragmentos acêntricos, ou cromossomos inteiros que se perderam durante o processo de divisão celular (FENECH, 2000). Essa falha na divisão celular pode ser causada por diversos fatores dentre eles, os agentes genotóxicos do meio aquático (BRAGA, 2021). Carrasco et al. (1990) descreveu outras anormalidades nucleares decorrentes de erros na divisão celular, como *blebbed*, *lobbed* e *notched*.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Coleta das espécies e das amostras

As coletas foram realizadas durante a VI Expedição Científica do baixo São Francisco, realizada de 21 a 30 de novembro de 2023 (MMA/ICMBio nº75591) nos municípios de Piranhas (AL), Propriá (SE) e Piaçabuçu (AL) (Figura 1).

Figura 1 - Municípios onde foram realizadas as coletas: Piranhas (1), Propriá (2) e Piaçabuçu (3).



Fonte: ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003.

Para captura dos peixes empregou-se redes de pesca com diferentes tamanhos de malhas, buscando a representatividade das espécies presentes no ecossistema estudado. Na embarcação os animais foram identificados (sexo e espécie), foi realizada a biometria (peso e comprimento) e a coleta de sangue através de punção na região branquial, com o auxílio de seringas, para o preparo dos esfregaços sanguíneos.

3.2 Genotoxicidade - Teste de micronúcleo

Para a avaliação da genotoxicidade foram preparados esfregaços utilizando 10 µL da solução sangue/heparina por lâmina, que posteriormente secaram à temperatura ambiente e foram fixadas em metanol absoluto durante 1 hora. Em seguida, as lâminas foram coradas com Giemsa 10% por 30 minutos.

A partir dos esfregaços sanguíneos, avaliou-se o dano ao DNA, por meio do teste de micronúcleo. Durante a análise microscópica, foram quantificadas as anormalidades nucleares eritrocitárias (ANEs) segundo Carrasco et al. (1990):

- Micronúcleo (MN) - fragmentos de DNA não incorporados ao núcleo, de formato circular com tamanho menor que um terço do núcleo principal e coloração semelhante ao núcleo principal;
- Núcleo tipo *blebbed* (BLE) - núcleo com uma pequena evaginação no envoltório nuclear, formando uma bolha;
- Núcleo *lobbed* (LOB) - núcleo com evaginação no envoltório nuclear maior que *blebbed*, formando um lóbulo;
- Núcleo *notched* (NOT) - núcleo com uma pequena fenda;
- Célula binucleada (BIN) - células apresentando dois núcleos de tamanhos similares.

Foram analisadas três lâminas por indivíduo e quantificados 1.500 eritrócitos em cada lâmina (4.500 eritrócitos por indivíduo). A frequência de todas as anormalidades observadas foi calculada como descrito por Nwani et al. (2011), através da fórmula abaixo:

$$\text{Frequência de cada ANE (\%)} = \text{Total de anormalidade por indivíduo} / 1500 * 100$$

3.3 Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey a 95% de confiança (Minitab 13).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Espécies avaliadas

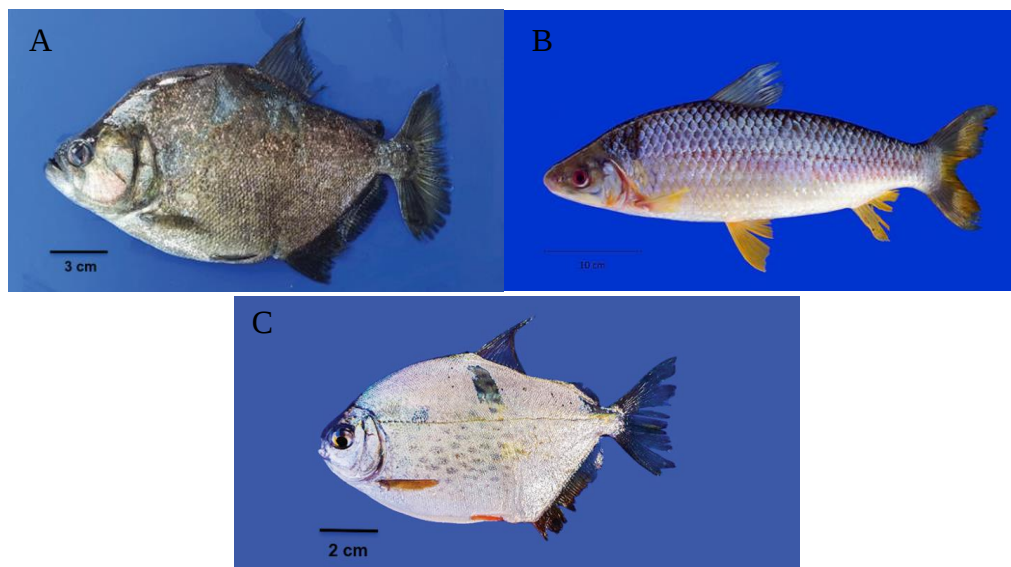
As espécies utilizadas para avaliação da genotoxicidade foram: o pacu (*Metynnis maculatus*), o piau-três-pintas (*Megaleporinus obtusidens*) e a pirambeba (*Serrasalmus brandtii*) (Tabela 1, Figura 2).

Tabela 1 - Espécies coletadas nos municípios visitados e utilizadas para as análises de genotoxicidade.

Espécie Municípios	Pacu	Piau três pintas	Pirambeba	Total por localidade
Piranhas	7	3	7	17
Propriá	4	2	2	8
Piaçabuçu	1	3	6	10
Total	12	8	15	35

Fonte: Autor, 2024.

Figura 2 - Espécies utilizadas para a análise de genotoxicidade: *S. brandtii* (A), *M. obtusidens* (B), *M. maculatus* (C).

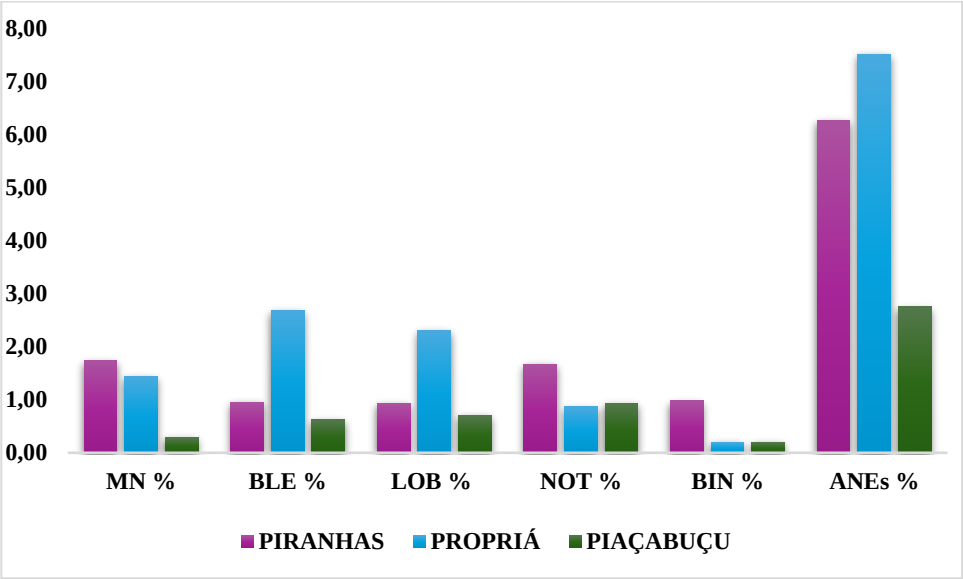


Fonte: SOARES (2021). Expedições Científicas do São Francisco.

4.2 Frequência de anormalidades nucleares eritrocitárias (ANEs) nas cidades

Nos três municípios amostrados foram observadas a presença de anormalidades nucleares eritrocitárias (ANEs) nos espécimes avaliados. Um total de 157.500 eritrócitos foram contabilizados, com a cidade de Piaçabuçu apresentando a menor frequência de ANEs, enquanto Propriá obteve a maior frequência (7,51%) (Figura 3).

Figura 3 - Frequência (%) das anormalidades nucleares eritrocitárias (ANEs) nos municípios.



MN: eritrócito com micronúcleo; BLE: eritrócito com núcleo blebbed; LOB: núcleo com anomalia lobbed; NOT: alteração nuclear do tipo notched; BIN: célula binucleada; ANEs: Anormalidades Nucleares Eritrocitárias totais (somatório de todas as anormalidades analisadas). Fonte: Autor, 2024.

A frequência de micronúcleos (MNs) foi maior na cidade de Piranhas (1,73%), seguida de Propriá (1,44%) e Piaçabuçu (0,28%) (Figura 3, Tabela 2).

Tabela 2 – Frequência (%) de anormalidades nucleares eritrocitárias (ANEs) nos municípios: Piranhas (PI), Propriá (PR) e Piaçabuçu (PU).

Cidade	MN	BLE	LOB	NOT	BIN	ANEs
PI	1,733	0,955	0,933	1,666	0,977	6,266
PR	1,444	2,688	2,311	0,866	0,199	7,511
PU	0,288	0,622	0,711	0,933	0,199	2,155
Total	3,466	4,266	3,955	3,467	1,377	15,933

MN: eritrócito com micronúcleo; BLE: eritrócito com núcleo blebbed; LOB: núcleo com anomalia lobbed; NOT: alteração nuclear do tipo notched; BIN: célula binucleada; ANEs: Anormalidades Nucleares Eritrocitárias totais (somatório de todas as anormalidades analisadas). Fonte: Autor, 2024.

A presença de anormalidades nucleares em todos os municípios estudados pode estar relacionada à poluição das águas do São Francisco, causada por exemplo, pelo despejo de esgoto sem tratamento feito pelas cidades ao longo do rio, uma vez que de todas as cidades da bacia somente uma tem 100% do esgoto tratado (CBHSF, 2016). O esgoto que chega às águas do Rio São Francisco, ao longo de toda sua extensão, carrega diferentes compostos que na região do baixo curso se concentram e podem estar atuando com fonte dos danos observados.

O uso de agroquímicos nas lavouras no entorno do Rio São Francisco também é um

fator contribuinte para a poluição aquática, como mencionado por Zellhuber e Siqueira (2007), o escoamento superficial contribui de forma significativa para a poluição aquática e consequentemente para o aparecimento das anormalidades nucleares nos peixes coletados nas cidades avaliadas neste trabalho.

Bispo et al. (2022), encontraram na água da região no baixo São Francisco 14 pesticidas, entre os quais três classificados como extremamente tóxicos, seis como altamente tóxicos e cinco como medianamente tóxicos. Na cidade de Propriá, que apresentou a maior frequência de ANEs (7,51%), foi encontrada maior diversidade de contaminantes/pesticidas (nove tipos), dentre eles cinco considerados altamente tóxicos. O composto fluoroacetamida (altamente tóxico), esteve presente em todas as amostras de água analisadas no baixo São Francisco (BISPO et al., 2022), motivo de grande preocupação, com os organismos que vivem neste ambiente e com todos que usam seus recursos.

Na água da cidade de Piranhas, segunda maior frequência de ANEs (6,27%) e maior frequência de MN (1,73%) (Figura 3), foram identificados quatro compostos com grande potencial toxicológico (carbendazim, fluoroacetamida, naftaleno e tolueno), dois desses classificados como extremamente tóxicos (BISPO et al., 2022), tais compostos podem estar atuando como genotóxicos, levando ao aparecimento dos danos genéticos encontrados nas espécies coletadas nessa localidade.

Algumas substâncias têm o potencial de persistir no ambiente e bioacumular nos organismos (acúmulo dos compostos químicos ao longo da vida), estas são chamadas de Poluentes Orgânicos Persistentes (POP). A bioacumulação tem sido relatada em peixes oriundos de corpos hídricos próximos de áreas agrícolas (SANTANA; CAVALCANTE, 2016). Um exemplo de POP é o DDT (diclorodifeniltricloroetano), pesticida que já teve seu uso proibido no Brasil, mas que persiste no ambiente e foi identificada no município de Propriá (BISPO et al., 2022), onde foi encontrada a maior frequência de ANEs.

No ano de 2022, o município de Propriá também apresentou a maior contaminação de TOG (teor de óleo e graxas), bem acima do que a legislação ambiental permite, essa concentração elevada pode causar vários problemas ambientais e de saúde humana, uma vez que esses óleos são misturas complexas (SOLETTI et al., 2022). Devido ao risco, Soletti et al. (2022) enfatiza que as cidades de Piaçabuçu e Propriá necessitam de uma fiscalização mais efetiva dos setores públicos com relação aos índices de contaminação de TOG.

O somatório das frequências mostra que a cidade de Piranhas (1,73%), apresentou a maior frequência de MN, esse resultado também pode ser explicado pela sua localização, pois esta encontra-se próxima a barragem da Hidrelétrica de Xingó (última das nove). Dessa forma

os organismos aquáticos que habitam esta região entram em contato direto com altas concentrações de compostos vindo dos efluentes e plantações de todas as cidades acima da barragem. Utilizando tilápias (*Oreochromis niloticus*) de diferentes pontos ao redor de um canal de descarga que transporta águas residuais agrícolas, industriais e esgotos, Abdel-Khalek, Dajem e Morsy (2020) observaram os maiores níveis de MNs e ANEs nos pontos considerados mais poluídos, ou seja, na saída do canal.

A análise de variância (ANOVA) feita para comparar a frequência de micronúcleos entre os três municípios estudados, revelou diferenças estatisticamente significativas. O resultado sugere que a variação na média de micronúcleos é influenciada pela cidade de origem da amostra. O teste de Tukey aplicado para comparar as médias entre os municípios com um intervalo de confiança de 95%, serviu para identificar como essas diferenças se distribuem entre os locais estudados (Tabela 3). Propriá apresentou a maior média de micronúcleos (0,1805), sendo significativamente diferente do município de Piaçabuçu, que apresentou a menor média (0,0289). Esse resultado mostra que ocorreu alguma alteração ambiental na região de Propriá e que influenciou na média de micronúcleos nos peixes.

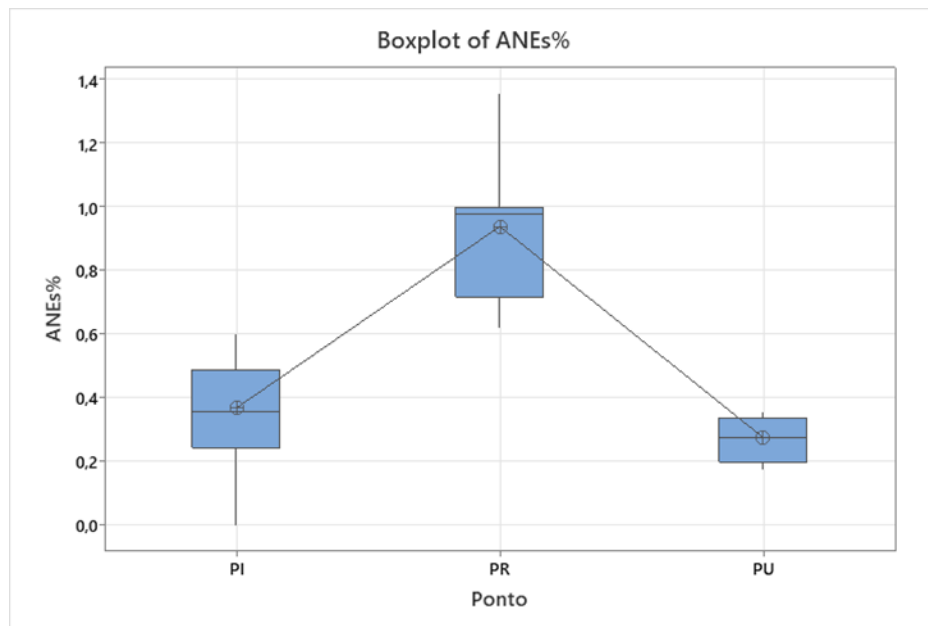
Tabela 3 - Frequência de micronúcleo nas cidades analisadas, por meio do teste de Tukey 95%.

Cidades	N	Média	Agrupamento	
Propriá	8	0,1805	A	
Piranhas	17	0,1020	A	B
Piaçabuçu	10	0,0289		B

Fonte: Autor, 2024.

O teste de Tukey a 95% de confiança feito a partir da análise de variância (Figura 4) para comparar a frequência das ANEs nos três municípios estudados (Tabela 4), revelou que houve diferença significativa na cidade de Propriá em relação aos demais municípios. O que confirma que o município de Propriá passou ou está passando por alterações ambientais em seu ecossistema que afetaram a qualidade da água e consequentemente a ictiofauna da região. Os municípios de Piranhas e Piaçabuçu não apresentaram diferenças significativas entre si (Tabela 4).

Figura 4 - Gráfico Bloxpot da Análise de variância (ANOVA), % ANEs nos municípios de Piranhas (PI), Propriá (PR) e Piaçabuçu (PU).



Fonte: Autor, 2024.

Tabela 4 - Frequência de anormalidades (ANEs) nas cidades analisadas, por meio do teste de Tukey 95%.

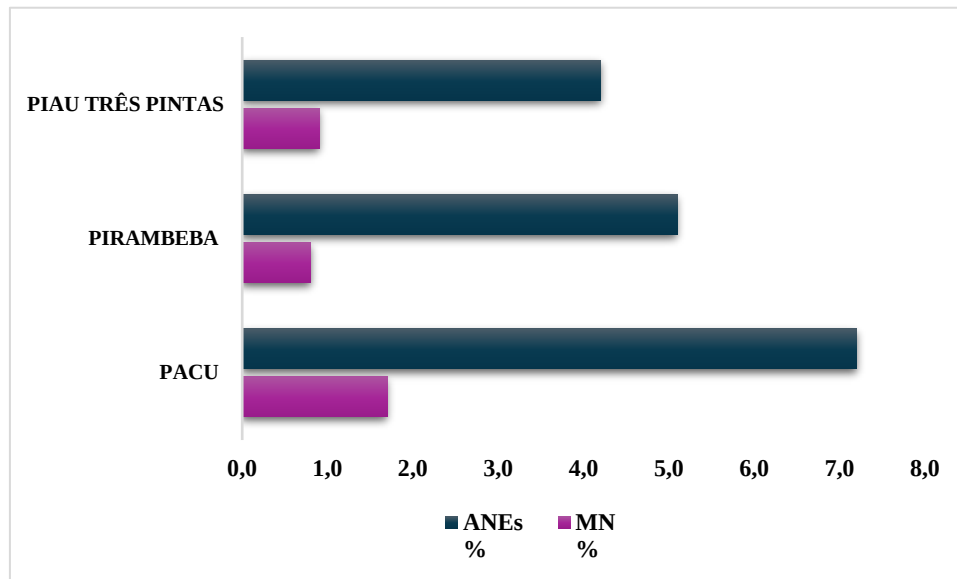
Cidades	N	Média	Agrupamento
Propriá	8	0,9389	A
Piranhas	17	0,3686	B
Piaçabuçu	10	0,2756	B

Fonte: Autor, 2024.

4.3 Frequência de ANEs nas espécies

O pacu (*M. maculatus*) e a pirambeba (*S. brandtii*) apresentaram as maiores frequências de ANEs (7,2% e 5,1%, respectivamente) enquanto o piauí três pintas (*M. obtusidens*) apresentou a menor frequência. A análise dos MNs separadamente, o pacu (1,7%) apresenta a maior frequência, enquanto a pirambeba (0,8%) e o piauí-três pintas (0,9%), ficaram com as menores frequências (Figura 5).

Figura 5 - Frequência (%) de ANEs e MN observadas nas espécies alvo.



MN: eritrócito com micronúcleo; ANEs: Anormalidades Nucleares Eritrocitárias totais (somatório de todas as anormalidades analisadas). Fonte: Autor, 2024.

A maior frequência de anormalidades nucleares foi observada em eritrócitos do pacu, que também apresentou as maiores frequência de MN (micronúcleo) e BLE (*blebbed*) separadamente. Segundo Soares et al. (2020), o pacu é considerado uma espécie média-migradora, tal comportamento pode deixá-la mais suscetível, pois permanece uma parte do tempo nas áreas marginais, ficando exposto a contaminantes por mais tempo nestes ambientes, poluentes normalmente vindos das áreas agrícolas.

O pacu e o piau três pintas são espécies onívoras, ou seja, alimentam-se de uma variedade de fontes, como plantas, insetos e pequenos peixes (BALDISSEROTTO et al., 2005), o que os torna mais resilientes e adaptáveis a variações ambientais. Mas, também pode levá-los a bioacumular diferentes tipos de contaminantes ou estressores ambientais em seus organismos, refletindo as condições do ambiente aquático em que vivem, tornando-os excelentes bioindicadores. Segundo Buratini e Brandelli (2014) a bioacumulação é o processo em que uma substância química vinda do ambiente é assimilada e retida pelo organismo. Nos organismos aquáticos, tais substâncias adentram o corpo por via oral ou respiratória e através da alimentação, e não são metabolizadas e/ou excretadas, acumulando-se nos mais diferentes tecidos e órgãos (GUIMARÃES, 1987).

O teste de Tukey a 95% de confiança analisando as ANEs totais não mostrou diferenças significativas, mas quando analisada somente a frequência de MN, a espécie pacu, foi significativamente diferente das demais (Tabela 5). Essa variação e presença de MNs depende do estresse ambiental e pode estar relacionada ao tipo e a concentração de poluentes em um

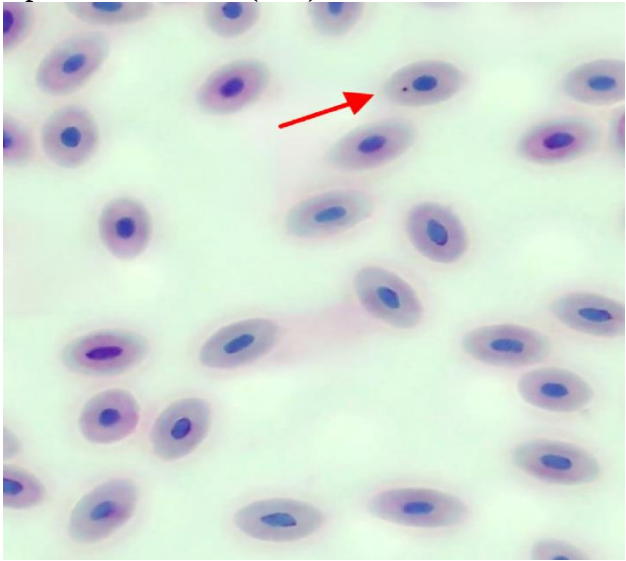
determinado local (KLIGERMAN, 1982).

Tabela 5 - Frequência de Micronúcleo entre as espécies analisadas, por meio do teste de Tukey a 95%.

Espécies	N	Média	Agrupamento	
Pacu	12	0,1426	A	
Piau Três Pintas	8	0,1166	A	B
Pirambeba	15	0,0548		B

Fonte: Autor, 2024.

Figura 6 - Fotomicrografia de eritrócitos de piau coletado no município de Propriá, apresentando MN (seta).



Fonte: Autor, 2024.

A poluição aquática não afeta apenas a estabilidade do corpo hídrico, mas também causa alterações genotóxicas e de desenvolvimento nos seus habitantes (OMAR et al., 2012), como o encontrado nas espécies avaliadas, com destaque para o pacu.

A presença de micronúcleos e anormalidades nucleares nas espécies estudadas revela que estas estiveram expostas a agentes genotóxicos. O dano cromossômico representado na formação de micronúcleos e das demais anormalidades é resultante de um reparo ineficiente ou incorreto do DNA e/ou da presença de metais pesados no organismo (OMAR et al., 2012).

As substâncias genotóxicas, como os metais pesados, impactam a qualidade da água e consequentemente a saúde dos organismos que vivem em ambiente contaminados. Essas substâncias causam alterações no material genético, diminuição da reprodução, da diversidade e saúde dos peixes, além de ocorrer casos de mutações que podem levar a morte desses organismos (TROLLY, 2019). Os organismos aquáticos acumulam as substâncias tóxicas que estão presentes nesse ecossistema (GUIMARÃES, 1987), à medida que o nível trófico desses

animais aumenta, ocorre o processo de biomagnificação dessas substâncias, ou seja, organismos predadores apresentam concentrações mais elevadas de substâncias tóxicas, apresentando riscos tanto a saúde das espécies aquáticas quanto a saúde humana (SANTANA; CAVALCANTE, 2016).

As diferenças encontradas nas frequências de ANEs e de MNs, podem refletir o grau de sensibilidade das diferentes espécies analisadas (OMAR et al., 2012; PALHARES; GRISOLIA, 2002). Em estudo realizado por Omar et al. (2012), a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) apresentou as maiores frequências de MNs, que segundo os autores, mostra uma maior sensibilidade da espécie a danos clastogênicos (quebra do material genético/cromossomo) e esta variação pode estar associada com a menor capacidade de reparo do DNA da espécie. Tal fato pode explicar as maiores frequências de ANEs e MNs encontradas no pacu, demonstrando que esta espécie pode ser mais sensível aos agentes genotóxicos e que pode atuar como um bom bioindicador da qualidade da água do São Francisco.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O teste de micronúcleo mostrou-se uma excelente ferramenta (biomarcador), para avaliar as condições da ictiofauna do baixo São Francisco.

Os resultados observados em Propriá mostram que a água desta localidade detém compostos com efeitos genotóxicos, que causaram danos ao material genético nos organismos avaliados.

Os peixes são considerados bons bioindicadores da qualidade da água, neste trabalho o pacu (*Metynnis maculatus*) se destacou das demais espécies, comprovando seu papel de bioindicador das águas do São Francisco.

As atividades antrópicas exercidas ao longo de toda extensão do Rio São Francisco afetam todas as espécies deste ecossistema, em especial os peixe e consequentemente o homem, que os usa como fonte de alimento. Assim, os resultados observados podem e devem ser usados para a elaborar políticas públicas que busquem a diminuição ou eliminação dos impactos causados a este ambiente.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-KHALEK, A.A.; BIN DAJEM, S.; MORSY, K. The Long-Term Exposure to Discharges of Sabal Drain Induces Genotoxic Effects on *Oreochromis niloticus*. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**. 104, 858–863, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00128-020-02856-3>>. Acesso em: 24 ago 2024.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras. Brasília: ANA, 2015. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/as-12-regioes-hidrograficas-brasileiras/sao-francisco>>. Acesso em: 15 ago 2024.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). ANA, 2008. Mapas da Bacia Hidrográfica do São Francisco. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-spr/mapas-regioes-hidrograficas/sao-francisco-para-site-ana-a0.pdf>>. Acesso em: 10 jul 2024.
- AZEVEDO-SANTOS, V. M. de; COSTA-NETO, E. M.; LIMA-STRIPARI, N. de. Concepção dos pescadores artesanais que utilizam o reservatório de Furnas, Estado de Minas Gerais, acerca dos recursos pesqueiros: um estudo etnoictológico. **Revista Biotemas**, v. 23, n. 4, p. 135-145, 2010
- BALDISSEROTO, B.; GOMES, C.L. Espécies nativas para piscicultura no Brasil. In: Tajade, R.D. Filho, Z.E. (orgs.). **Cultivo do gênero Leporinus**. Santa Maria-RS: Ed. UFMS, 2005. 81-103p.
- BISPO, M. D. et al. Monitoramento de Pesticidas no Baixo São Francisco. In: SOARES, E. C.; SILVA, J. V.; SILVA T. J. (Orgs). **O Baixo São Francisco: características ambientais e sociais**. v.2. Maceió: Edufal, 2022. cap. 10, p. 198-220.
- BRAGA, L. S. S. B. et al. Avaliação da frequência de micronúcleos em eritrócitos de peixes do médio Rio São Francisco em Januária/MG. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, 2021.
- BURATINI, S. V.; BRANDELLI, A. Bioacumulação. In: ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia aquática: princípios e aplicações**. 2 ed. São Carlos: RiMa, 2008. 55-87p.
- CARRASCO, K. R.; TILBURY, K. L.; MYERS, M. S. Assessment of the Piscine Micronucleus Test as an in situ Biological Indicator of Chemical Contaminant Effects. **Canadian Journal Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 47, 1990.
- CICERO, L. H.; BARRELLA, W.; ROTUNDO; M. M. Parâmetros hematológicos dos peixes: procedimentos para análise ambiental. **Revista de Biologia Marinha e Oceanografia**, v. 59, n. 1, p. 54-631, 2014.
- CBHSF – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco 2016- 2025. Belo Horizonte: CBHSF, 2016. Disponível em: <<https://cbhsaofrancisco.org.br/noticias/>>. Acesso em: 29 jul. 2024.
- CBHSF – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. A Bacia: principais características, 2017. Disponível em: < <https://2017.cbhsaofrancisco.org.br/2017/a->

bacia/>. Acesso em: 27 ago. 2024.

CBHSF – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. A Gestão do CBHSF 2016-2020. Salvador: Gato Preto Editora, 2020. ISBN: 9786599126215

DEUTSCHMANN, B. et al. Longitudinal profile of the genotoxic potential of the River Danube on erythrocytes of wild common bleak (*Alburnus alburnus*) assessed using the comet and micronucleus assay. **Science of The Total Environment**, Alemanha, v. 573, p. 1441–1449, 2016.

FENECH, M. The in vitro micronucleus technique. **Mutation Research**, v. 455, p. 81-95, 2000.

GUIMARÃES, G. L. Impactos ecológicos do uso de herbicidas ao meio ambiente. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 4, n. 12, p.159-180, set. 1987.

GODINHO, H. P.; GODINHO, A. L. Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais. Belo Horizonte: Editora PUC Minas, 2003. 468 p.

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.

KLIGERMAN, D. Fishes as biological detectors of the effects of genotoxic agents, in: J. Heddle (Ed.), **Mutagenicity: New Horizons in Genetic Toxicology**, Academic Press, New York, USA, 1982, pp. 435–456

KURELEC, B. The genotoxic disease syndrome. **Marine Environmental Research**. 35, n. 4, p. 341-348, 1993.

LIONETTO, M.G.; CARICATO, R.; GIORDANO, M.E. Pollution Biomarkers in the Framework of Marine Biodiversity Conservation: State of Art and Perspectives. **Water**, 2021, 13, 1847.

LEE, R. F.; STEINERT, S. Use of the single cell gel electrophoresis/comet assay for detecting DNA damage in aquatic (marine and freshwater) animals. **Mutation Research**, v. 544, n. 1, p. 43-64, 2003.

MARQUES, J.; TOMÁZ, A. Ecologia dos pescadores artesanais do baixo São Francisco CAPÍTULO 6, In NOGUEIRA, E. M. e SÁ M. F. **A pesca artesanal no baixo São Francisco: atores, recursos, conflitos**. Petrolina, PE Editora da Sociedade Brasileira de Ecologia Humana, 2015.

MELO, N. J. A. **Potencial tóxico, citotóxico e mutagênico de extratos aquosos de *Licania rígida* (CHRYSOBALANACEAE) em células in vivo**. SOUSA, M. A. N.: 2015. 68 p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) – Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró, 2015.

NASCIMENTO, H. S. **Avaliação da genotoxicidade e mutagenicidade de anestésicos em *Oreochromis niloticus***. GRISOLIA, A. B.: 2018. 54 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Geral/Bioprospecção) – Universidade Federal de Grande Dourados, Dourado, 2018.

NWANI, C. D. et al. Mutagenic and genotoxic assessment of atrazine-based herbicide to freshwater fish *Channa punctatus* (Bloch) using micronucleus test and single cell gel electrophoresis. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 31, n. 2, p. 314-322, 2011.

NOGUEIRA, E. M. S.; SÁ, M. F. P.; **A pesca artesanal no baixo São Francisco: atores, recursos, conflitos.** ed. 1. Petrolina: SABEH – Editora da Sociedade Brasileira de Ecologia Humana, 2015.

OBIAKOR, M. O. et al. Ecogenotoxicology: Micronucleus Assay in Fish Erythrocytes as In situ Aquatic Pollution Biomarker: a Review. **Journal of Animal Science Advances**, v. 2, n.1, p. 123-133. 2012.

OMAR, W, A.; ZAGHLOU, K, H.; ABDEL-KHALEK, A. A.; ABO-HEGAB, S. Genotoxic effects of metal pollution in two fish species, *Oreochromis niloticus* and *Mugil cephalus*, from highly degraded aquatic habitats. **Mutation Research**. 746, 7-14. 2012

PALHARES, D.; GRISOLIA, C. K. Comparison between the micronucleus frequencies of kidney and gill erythrocytes in tilapia fish, following mitomycin C treatment. **Genetics and Molecular Biology**. Brasília, DF, v. 25, n.3, p. 281–284, 2002.

ROSA, Larissa Alves da Silva. **Segurança hídrica: um olhar sobre a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.** 2019. 190 f., il. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019

REYNOLDS, W. J. et al. Comparison of biomarker and pathological responses in flounder (*Platichthys flesus* L.) induced by ingested polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) contamination. **Chemosphere**, v. 52, n. 7, p. 1135-1145, 2003.

RUPPERT, E. E.; BARNES, R. D. **Invertebrate Zoology**. 6. Ed. Philadelphia:WB Saunders Company, 1993.

SAMPAIO, C. L. S.; PAIVA, A. C. G.; SILVA, E. C. S. Peixe, pesca e pescadores do Baixo São Francisco, Nordeste do Brasil. In: NOGUEIRA, E. M. S.; SÁ, M. F. P. (Orgs). **A pesca artesanal no baixo São Francisco: atores, recursos, conflitos.** ed. 1. Petrolina: SABEH – Editora da Sociedade Brasileira de Ecologia Humana, 2015. cap. 3, p. 107-148.

SANTANA, L. M. B.; CAVALCANTE, R. M. Transformações metabólicas de agrotóxicos em peixe: uma revisão. **The Electronic Journal of Chemistry**, v. 8, n. 4, p. 257 – 268, 2016. Disponível em: <<http://www.orbital.ufms.br/index.php/Chemistry/article/download/856/pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2024.

SILVA, R. R. P. **Avaliação da toxicidade aguda e genotoxicidade de extrato de floração de *Microcystis spp* para peixes de água doce.** GRISÓLIA, C. K: 2009. Dissertação (Pós-graduação em Biologia Animal) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

SOARES, E. C.; SILVA, J. V.; SILVA T. J. (Orgs). **O Baixo São Francisco: características ambientais e sociais.** Maceió: Edufal, 2022. v.2. 483p.

SOARES, E. C.; SILVA, J. V.; NAVAS, R. **O Baixo São Francisco: características ambientais sociais.** Maceió: Edufal, 2020. v.1 401 p.

SOLETTI, J. I. et al. Avaliação do Teor de Óleos e Graxas no Baixo São Francisco. In: SOARES, E. C.; SILVA, J. V.; SILVA T. J. (Orgs). **O Baixo São Francisco: características ambientais e sociais**. v.2. Maceió: Edufal, 2022. cap. 11, p. 221-234.

TALLMAN, H.; BENEDICTO, M. Velho Chico pede passagem. In: São Francisco o rio que resiste. **Retratos a revista do IBGE**. n. 13. nov 2018.

THEODORAKIS, C.W.; SWARTZ, C.D.; ROGERS, W.J.; BICKHAM, J.W.; DONNELLY, K.C.; ADAMS, S.M. Relationship between genotoxicity, mutagenicity, and fish community structure in a contaminated stream. **Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery**, 2000. 7, 131–143.

TROLLY, T. S. **Avaliação de Genotoxicidade em Peixes de Duas Áreas Portuárias do rio Tapajós, no Oeste do Pará**. 2019. 43p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2019.

UDROIU, I. The micronucleus test in piscine erythrocytes. **Aquatic Toxicology**, v. 79, p. 201-204, 2006.

WEINSTEIN, B. The origins of human câncer: molecular mechanisms of carcinogenesis and their implications for câncer prevention and treatment – Twenty-seventh G.H.A. clowes memorial award lecture. **Cancer Research**. 48, p 4135-4143, 1988.

ZALEWSKA, T.; DANOWSKA, B. Marine environment status assessment based on macrophytobenthic plants as bioindicators of heavy metals pollution. **Marine Pollution Bulletin**, v. 118, n. 1-2, p. 281-288, 2017.

ZELLHUBER, A.; SIQUEIRA, R. Rio São Francisco em descaminho: degradação e revitalização. Cadernos do Ceas. **Revista Crítica de Humanidades Ceas**. Recife: UCSal/Unicap, 2007.