

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E AMBIENTAIS

LORENA ALVES LIMA DA SILVA

RELAÇÃO ENTRE A FREQUÊNCIA DE MICRONÚCLEOS E AS VARIÁVEIS FÍSICAS  
E QUÍMICAS DA ÁGUA EM TILAPICULTURA EM TANQUE-REDE

DOURADOS

2024

LORENA ALVES LIMA DA SILVA

RELAÇÃO ENTRE A FREQUÊNCIA DE MICRONÚCLEOS E AS VARIÁVEIS FÍSICAS  
E QUÍMICAS DA ÁGUA EM TILAPICULTURA EM TANQUE-REDE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Ciências Biológicas Bacharelado  
da Universidade Federal da Grande Dourados,  
como parte dos requisitos necessários à  
obtenção do título de Bióloga.

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Rosa Carrijo  
Mauad

Coorientadora: Dra. Lidiany Doreto Cavalcanti

DOURADOS

2024

LORENA ALVES LIMA DA SILVA

RELAÇÃO ENTRE A FREQUÊNCIA DE MICRONÚCLEOS E AS VARIÁVEIS FÍSICAS  
E QUÍMICAS DA ÁGUA EM TILAPICULTURA EM TANQUE-REDE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Ciências Biológicas Bacharelado  
da Universidade Federal da Grande Dourados,  
como parte dos requisitos necessários à  
obtenção do título de Bióloga.

Aprovada em: 06/12/2024

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente

gov.br

JULIANA ROSA CARRIJO MAUAD

Data: 11/12/2024 13:56:55-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Dra. Juliana Rosa Carrijo Mauad - Presidente

UFGD

Documento assinado digitalmente

gov.br

ROSILDA MARA MUSSURY FRANCO SILVA

Data: 12/12/2024 12:04:53-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Dra. Rosilda Mara Mussury Franco Silva - Membro Convidado

UFGD

Documento assinado digitalmente

gov.br

FERNANDO DA SILVA CABANHA

Data: 12/12/2024 10:27:03-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Mestrando Fernando Cabanha – Membro Convidado

UFGD

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S586r Silva, Lorena Alves Lima Da  
Relação entre a frequência de micronúcleos e as variáveis físicas e químicas da água em tilapicultura em tanque-rede [recurso eletrônico] / Lorena Alves Lima Da Silva. -- 2024.  
Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Juliana Rosa Carrijo Mauad .  
Coorientadora: Lidiany Doreto Cavalcanti .  
TCC (Graduação em Ciências Biológicas)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2024.  
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:  
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Genotoxicidade. 2. Bioindicadores aquáticos. 3. Aquicultura sustentável. I. Mauad, Juliana Rosa Carrijo. II. Cavalcanti, Lidiany Doreto. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

*Aos meus pais e ao meu irmão, por me ensinarem o significado de dedicação e me apoiarem incondicionalmente durante esse período.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha família, especialmente aos meus pais, Leônidas e Josiane, que tantas vezes abriram mão de seus próprios sonhos para que eu pudesse realizar os meus. Não consigo expressar em palavras todo o amor e gratidão que sinto por vocês.

Ao meu irmão Raul, meu companheiro desde a infância que cresceu ao meu lado com os mesmos valores. Você é e sempre será uma grande inspiração para mim, amo você!

Ao meu namorado Mario, que foi meu melhor amigo e minha família durante esses anos de curso. Agradeço por ter me socorrido nos momentos difíceis e tornado os momentos bons ainda melhores. Te vejo com olhos de admiração e sou profundamente grata por tudo. Te amo!

Aos meus amigos desde o primeiro dia de curso, Juliana, Herica, Vitor e Igor. Não imaginava fazer amizades tão significativas na faculdade e hoje não consigo imaginar minha graduação sem vocês. Obrigada por cada momento de risada e angústia compartilhados esses anos.

Às amizades que o laboratório me deu, Laiane, Lidiany, Aline, Carol e Lucas. Sou muito grata pelas coletas e tardes de risadas no laboratório, vocês tornaram o caminho mais leve e prazeroso. Obrigada!

Agradeço também a toda equipe envolvida nas coletas, esse trabalho não seria possível sem a participação e dedicação de vocês.

Por fim, agradeço à minha orientadora, Juliana, e às minhas mentoras, Marcia e Lidiany, pela paciência, ensinamentos e incentivos constantes. Vocês foram fundamentais na minha trajetória acadêmica e fizeram toda a diferença.

## RESUMO

A produção de peixes de água doce, especialmente a tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*), destaca-se pela relevância econômica e pela contribuição para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, como a erradicação da fome (ODS 2), a promoção da saúde e bem-estar (ODS 3), o crescimento econômico sustentável (ODS 8), a conservação da vida marinha (ODS 14) e o fortalecimento de parcerias globais (ODS 17). Este estudo, realizado no assentamento Itamaraty, em Ponta Porã (MS), teve como objetivo avaliar a relação entre a frequência de micronúcleos (MN) em tilápias criadas em tanques-rede e as variáveis físicas e químicas da água (pH, oxigênio dissolvido, amônia total e temperatura), além de analisar as diferenças temporais e entre propriedades. Os resultados não indicaram correlação significativa entre a frequência de micronúcleos e as variáveis analisadas. No entanto, foram observadas diferenças estatisticamente significativas ao longo do tempo, especialmente no mês de fevereiro, possivelmente relacionadas ao escoamento superficial e à introdução de sedimentos com poluentes. Diferenças também foram detectadas entre as propriedades, sugerindo que fatores locais, como práticas de manejo e condições ambientais específicas, podem ter influenciado a frequência de micronúcleos. Este trabalho reforça a importância do uso de tilápias como bioindicadores na avaliação de impactos ambientais e destaca o teste de micronúcleo como uma ferramenta eficiente e sensível para monitorar a genotoxicidade em sistemas aquícolas. Ao integrar sustentabilidade ambiental e práticas produtivas responsáveis, o estudo contribui para o fortalecimento de práticas mais seguras na aquicultura, promovendo benefícios econômicos e ecológicos alinhados aos ODS.

**Palavras-Chave:** Genotoxicidade, Aquicultura sustentável, Bioindicadores aquáticos

## ABSTRACT

The production of freshwater fish, especially Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), stands out for its economic relevance and contribution to the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), such as eradicating hunger (SDG 2), promoting health and well-being (SDG 3), fostering sustainable economic growth (SDG 8), conserving marine life (SDG 14), and strengthening global partnerships (SDG 17). This study, conducted at the Itamaraty Settlement in Ponta Porã (MS), aimed to evaluate the relationship between the frequency of micronuclei (MN) in Nile tilapia farmed in cage systems and the physical and chemical variables of water (pH, dissolved oxygen, ammonia, and temperature), as well as to analyze temporal and property-based differences. The results showed no significant correlation between micronuclei frequency and the analyzed variables. However, statistically significant differences were observed over time, particularly in February, possibly linked to surface runoff and the introduction of sediment containing pollutants. Differences were also detected between the properties, suggesting that local factors, such as management practices and specific environmental conditions, might have influenced the frequency of micronuclei. This study highlights the importance of using Nile tilapia as bioindicators in assessing environmental impacts and underscores the micronucleus test as an efficient and sensitive tool for monitoring genotoxicity in aquaculture systems. By integrating environmental sustainability and responsible production practices, the study contributes to the development of safer aquaculture methods, fostering economic and ecological benefits aligned with the SDGs.

**Keywords:** Genotoxicity, Aquaculture sustainability, Aquatic bioindicators

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Assentamento rural Itamarati, distrito Nova Itamarati, Ponta Porã-MS.

Figura 2 – Médias simples das variáveis físicas e químicas da água analisadas (pH, oxigênio dissolvido, amônia total e temperatura).

Figura 3 - Relação entre as variáveis físicas e químicas da água (pH, oxigênio dissolvido, amônia total e temperatura) e a frequência de micronúcleos.

Figura 4 - Micronúcleos em células sanguíneas de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*).

Figura 5 - Variação da frequência de micronúcleos ao longo dos meses analisados.

Figura 6 - Variação da frequência de micronúcleos entre as propriedades do assentamento Itamarati, Ponta Porã, MS.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	6
3	METODOLOGIA	6
4	RESULTADOS	8
5	DISCUSSÃO	12
6	CONCLUSÕES	13
4	AGRADECIMENTOS	14

## INTRODUÇÃO

A aquicultura, prática de cultivo de organismos aquáticos, desempenha um papel essencial tanto no Brasil quanto no cenário global, gerando proteína de alta qualidade organoléptica, em pequenos espaços. No Brasil, sua história começou no século XVII, com registros de práticas aquícolas durante a ocupação holandesa no Nordeste (Valenti et al., 2023). Atualmente, a aquicultura é uma indústria lucrativa e um dos setores de alimentos com maior crescimento no país, baseada majoritariamente em pequenas propriedades, em que 80% das fazendas possuem áreas de tanques com menos de 2 hectares (IBGE, 2020).

A produção da aquicultura brasileira pode ser considerada diversificada, englobando cinco produtos principais: peixes de água doce, camarões marinhos, moluscos, camarões de água doce e rãs (Peixe BR, 2020). A produção de peixes de água doce destaca-se como a mais representativa em volume e impacto econômico. Entre as principais espécies estão a tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) e os chamados peixes redondos, com destaque para o tambaqui (*Colossoma macropomum*), o pacu (*Piaractus mesopotamicus*), a pirapitinga (*Piaractus brachypomus*) e os híbridos resultantes do cruzamento dessas espécies.

A tilápia-do-nilo representou 67% da produção total do setor em 2023, com um volume de 440 mil toneladas, seguida pelos peixes redondos (tambaqui, pacu, pirapitinga e seus híbridos), que corresponderam a 25% da produção, totalizando cerca de 160 mil toneladas (IBGE, 2023). Esses avanços foram impulsionados por técnicas modernas e pela adaptação a diferentes ambientes, como tanques e áreas reaproveitadas, fortalecendo a viabilidade do setor e reduzindo seu impacto ambiental (FAO, 2018). Como alimentar uma população crescente com uma dieta saudável e sustentável é um dos maiores desafios que a humanidade enfrenta hoje (Willet et al., 2019) e a aquicultura tem sido reconhecida como uma atividade crucial para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente os que envolvem a erradicação da fome, a promoção do bem-estar e a conservação dos ecossistemas marinhos. Os 17 ODS, definidos em 2015, incluem metas como a segurança alimentar (ODS 2), a promoção de vidas saudáveis (ODS 3), o crescimento econômico sustentável (ODS 8) e a preservação dos recursos marinhos (ODS 14) (Stead, 2019; Troell et al., 2023) que devem ser cumpridas até 2030. O setor é considerado uma solução viável para atender à crescente demanda mundial por proteínas, especialmente em um cenário de recursos limitados e de uma população que deve alcançar 9 bilhões de pessoas até 2050 (FAO, 2018).

Em 2016, a produção global de peixes atingiu um recorde de 171 milhões de toneladas, das quais 88% foram destinadas ao consumo humano, evidenciando a relevância da aquicultura para a segurança alimentar global. Esse crescimento elevou o consumo médio global de frutos do mar para 20,3 kg per capita, também um marco histórico, enquanto as pescarias de captura localizadas se mantiveram.

No Brasil, em 2019, a produção de peixes de água doce para consumo humano foi estimada em aproximadamente 760 mil toneladas (Peixe BR, 2020), com um aumento médio de cerca de 5% nos últimos cinco anos. O setor de pesca de água doce é responsável por quase 90% da produção aquícola nacional e 95% do total das fazendas, sendo que cerca de 80% da atividade ocorre em viveiros escavados (Valenti et al., 2023). Essa expansão tem contribuído significativamente para a segurança alimentar e para a conservação da biodiversidade, ao promover práticas sustentáveis de uso dos recursos aquáticos (Le Gouvello et al., 2017).

O desenvolvimento da aquicultura no Brasil abrange a aplicação de diversos sistemas de produção, adaptados ao ambiente e aos recursos disponíveis. Entre as tecnologias utilizadas, destacam-se os sistemas de recirculação de água, que possibilitam maior controle da qualidade hídrica e eficiência no uso dos recursos, diferenciando-se dos métodos tradicionais ao oferecer maior sustentabilidade (Verdegem et al., 2023). Outra prática relevante são os tanques-rede, estruturas formadas por telas de diferentes formatos e tamanhos, que permitem a circulação da água. Esse sistema, caracterizado por seu baixo custo inicial e pela facilidade de instalação em diversos ambientes, é considerado uma abordagem intensiva de produção (Embrapa, 2009). A implementação responsável desses sistemas contribui para que a aquicultura amplie seus benefícios à sociedade e ao meio ambiente. No entanto, é essencial promover uma integração eficaz com outros setores, como a agricultura e a conservação ambiental, considerando as necessidades das escalas locais e regionais (Verdegem et al., 2023).

A tilapicultura no Brasil tem crescido de forma notável desde a década de 1990, consolidando-se como uma das principais atividades da aquicultura nacional. Em 2022, o país produziu 550.060 toneladas de tilápia, o que representou 63,93% da produção total de peixes de cultivo no Brasil. Esse volume reflete um aumento de 3% em relação ao ano anterior e coloca o Brasil na quarta posição mundial, atrás apenas de China, Indonésia e Egito. A expectativa é que, até 2030, o país alcance a terceira posição no ranking global, com a tilápia representando cerca de 80% da produção nacional (Haddad et al., 2023; Schuller e Vieira Filho, 2018).

As tilápias-do-nilo são nativas da África, Israel e Jordânia e se destacam por características que as tornam propícias para a aquicultura, como a fácil reprodução, o alto valor de mercado, os baixos custos de produção e a capacidade de adaptação a diferentes sistemas de cultivo, desde os mais extensivos até os intensivos. Além disso, essas espécies podem ser cultivadas em águas com salinidades elevadas e se ajustam a climas amenos e quentes. Esses fatores explicam porque as tilápias-do-nilo são o grupo de peixes que mais cresce na produção em cativeiro, sendo a espécie mais cultivada no Brasil e a segunda mais cultivada no mundo, atrás apenas das carpas (EMBRAPA, 2007).

Os principais polos de produção estão localizados nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste. No Sul, destaca-se o estado do Paraná, responsável por 63 mil toneladas em 2015, graças ao uso de viveiros escavados e à atuação de cooperativas como a Copacol. No Nordeste, os reservatórios do rio São Francisco e açudes cearenses, como o Castanhão, são os principais pontos de cultivo. Já o Noroeste Paulista se destaca pelo uso de reservatórios dos rios Paraná e Grande, além de integrar tecnologias avançadas, como tanques-rede de grande volume (Sussel, 2011; Schuler e Vieira Filho, 2018).

A infraestrutura de produção tem evoluído com o uso de sistemas diversificados, incluindo tanques-rede, viveiros escavados e tanques de alta capacidade. Esse avanço tem sido acompanhado por melhorias na genética dos alevinos e no desenvolvimento de rações específicas, fatores que têm contribuído para o aumento da produtividade e competitividade do setor. Além disso, iniciativas de integração vertical, como processamento industrial e parcerias entre cooperativas e grandes empresas, têm sido fundamentais para sustentar o crescimento (Sussel, 2011; Schuler e Vieira Filho, 2018).

O Brasil tem condições naturais favoráveis para a piscicultura, com clima tropical, vasto potencial hídrico e dimensões continentais que permitem a expansão significativa do cultivo. A produção é puxada pela tilápia-do-nilo, espécie que possui crescente representatividade no mercado interno e externo. Atualmente, a espécie responde por 98% das exportações brasileiras de peixes de cultivo, com destaque para os Estados Unidos como principal destino (Peixe BR, 2023). Do ponto de vista econômico, a tilapicultura tem demonstrado alta viabilidade. Grandes investimentos em infraestrutura, aliados à profissionalização da cadeia produtiva, tornam o Brasil um mercado promissor. A produção de tilápia-do-nilo também desempenha um papel relevante na segurança alimentar, geração de empregos e desenvolvimento local, especialmente em regiões economicamente desfavorecidas. Contudo, desafios como a burocracia no licenciamento ambiental e os custos

de produção ainda limitam o setor em algumas áreas (Haddad et al., 2023; Schuller e Vieira Filho, 2018).

As tilápias são peixes com hábitos alimentares variados, que vão desde herbivoria até detritivoria. A tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*), a espécie mais cultivada, apresenta hábito fitoplanctófago, alimentando-se principalmente de microrganismos vegetais presentes na água. No entanto, essa espécie destaca-se pela sua alta adaptabilidade a dietas formuladas, incluindo rações comerciais e artesanais, geralmente compostas por subprodutos da agropecuária, o que representa uma importante vantagem para sua produção (EMBRAPA, 2007).

Esses peixes possuem características morfológicas, como dentes rudimentares, intestinos longos, respiração branquial e corpo revestido por escamas. Quanto à reprodução, a tilápia-do-Nilo apresenta desova parcelada, podendo ocorrer entre 8 e 12 vezes ao ano. A maturidade sexual depende de fatores como clima, manejo, disponibilidade de espaço e alimentação, sendo geralmente alcançada a partir dos cinco meses de idade. Em cada ciclo reprodutivo, as fêmeas produzem entre 800 e 2.000 ovos (Fiep, 2019).

O processo reprodutivo da tilápia-do-nylo em ambiente natural inicia-se com o macho construindo ninhos no substrato aquático, onde a fêmea deposita os ovos que, em seguida, são fecundados. Um aspecto biológico relevante dessa espécie é o dimorfismo sexual, que facilita a distinção entre os sexos. Na região ventral, por exemplo, a fêmea possui três orifícios (ânus, oviduto e uretra), enquanto o macho apresenta apenas dois (ânus e orifício urogenital). Outras características incluem o escurecimento da região gular nas fêmeas reprodutivas, enquanto os machos podem apresentar coloração rosada na cabeça e extremidades das nadadeiras, além de tonalidades azuladas ou cinzentas no abdômen durante a maturidade sexual (EMBRAPA, 2007; Fiep, 2019).

As tilápias-do-nylo são peixes bem adaptados a ambientes lânticos, como rios, lagoas, lagoas, represas e reservatórios, e se destacam por sua alta prolificidade. A maturidade sexual pode variar entre cinco e doze meses, dependendo das condições climáticas e da espécie, sendo os machos geralmente maiores que as fêmeas. Sob condições ideais de cativeiro, com manejo adequado e alimentação balanceada, a tilápia-do-nylo pode alcançar 28 cm de comprimento e 0,5 kg de peso aos oito meses de idade (Touch, 1999; Fiep, 2019).

Apesar das características otimizadas para o cultivo, a tilapicultura enfrenta desafios críticos, sobretudo devido às mudanças climáticas. Eventos como o aumento do nível do mar e a variabilidade de temperaturas podem alterar as condições de cultivo, gerando impactos negativos na saúde dos organismos aquáticos e, por consequência, na produtividade. A maior

vulnerabilidade a doenças e a escassez de recursos, como a água e o oxigênio dissolvido, exigem que a aquicultura adote práticas de adaptação, para garantir sua resiliência e continuidade no longo prazo (Verdegem et al., 2023).

Além disso, os peixes frequentemente estão em contato direto com efluentes urbanos, os quais podem provocar diversos efeitos adversos sobre sua saúde. Atividades antrópicas em áreas urbanas intensificam o lançamento de efluentes industriais e domésticos em corpos hídricos. Esses efluentes geram misturas de agentes biológicos e químicos que, ao interagirem com os organismos, podem causar efeitos difíceis de serem avaliados exclusivamente por análises químicas da água (Vasanthi et al., 2013). As substâncias e reações originadas dessas interações podem impactar a biota aquática, as assembleias de peixes e, potencialmente, a saúde humana (Hoshina, Angelis & Marin-Morales, 2008).

Na caracterização dos aspectos físico-químicos da água, normalmente são avaliados Parâmetros como condutividade, temperatura, pH (potencial de hidrogênio), turbidez, oxigênio dissolvido (OD) e sólidos dissolvidos totais (SDT) que ajudam a identificar as espécies iônicas e os elementos presentes na água, permitindo quantificá-los e compreender seus efeitos nos processos naturais e no ambiente, tanto em condições naturais quanto em situações de poluição (Bueno, 2017).

Nesse contexto, os peixes se destacam como bioindicadores devido à sua sensibilidade a alterações ambientais, diversidade funcional, posição na cadeia alimentar e capacidade de responder a impactos cumulativos, o que reforça sua relevância em avaliações ambientais (Karr, 1981). Por sua dependência direta da água ao longo de todo o ciclo de vida, são considerados organismos modelo na avaliação da saúde de ecossistemas aquáticos (Silva et al., 2020). Além disso, o teste do micronúcleo tem sido amplamente utilizado para identificar danos genéticos e mutagênicos em peixes expostos a poluentes ambientais (Arslan et al., 2015; Canedo et al., 2021).

Micronúcleos são pequenas estruturas semelhantes aos núcleos principais, originadas de fragmentos cromossômicos ou cromossomos inteiros que falham em migrar durante a mitose, seja por quebra cromossômica ou mau funcionamento do fuso mitótico (Krupina et al., 2021; Hoshina, Angelis & Marin-Morales, 2008). Essa técnica é considerada uma das menos invasivas e mais eficazes para monitoramento da vida selvagem, possibilitando a detecção de alterações citogenéticas de forma precoce (Udroiu, 2006; López-López & Sedeño-Díaz, 2015).

Pesquisas apontam que peixes teleósteos são bioconcentradores de poluentes ambientais, apresentando respostas sensíveis mesmo em níveis baixos de exposição. Isso os

torna valiosos como biomarcadores no monitoramento de genotoxicidade, tanto em experimentos laboratoriais para avaliar xenobióticos quanto em estudos in situ para aferir a qualidade da água (Udroiu, 2006; López-López & Sedeño-Díaz, 2015). Estudos também indicam que a recuperação de eritrócitos em peixes expostos a poluentes depende tanto da concentração quanto do tempo de exposição (Amorim et al., 2024).

Os peixes, como sentinelas dos recursos hídricos, não apenas refletem os impactos da poluição sobre a biodiversidade aquática, mas também sinalizam riscos potenciais à saúde humana ao atuarem como vetores de poluentes nos ecossistemas (López-López & Sedeño-Díaz 2015). Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a relação entre a frequência de micronúcleos e as variáveis físicas e químicas da água em tilápias do Nilo cultivadas em tanques-rede de pisciculturas em Ponta Porã, Mato Grosso do Sul.

### **OBJETIVO GERAL**

Avaliar a relação entre a frequência de micronúcleos em tilápia-do-nilo, produzidas em tanques-rede e as variáveis físicas e químicas da água.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Quantificar a frequência de micronúcleo em cada propriedade
- Aferir os parâmetros físicos e químicos da água
- Comparar a frequência de micronúcleo mensalmente
- Comparar a frequência de micronúcleo entre as propriedades

### **METODOLOGIA**

Foram realizadas coletas mensais em duas pisciculturas familiares entre os meses de fevereiro e agosto de 2024. As propriedades estão localizadas no Assentamento rural Itamarati, município de Ponta Porã, Mato Grosso do Sul (Figura 1). As coletas ocorreram entre fevereiro e setembro de 2024 e em cada piscicultura foram capturados 10 indivíduos de tilápias-do-nilo (*Oreochromis niloticus*), totalizando 20 peixes por mês e um total de 110 peixes ao final do período.

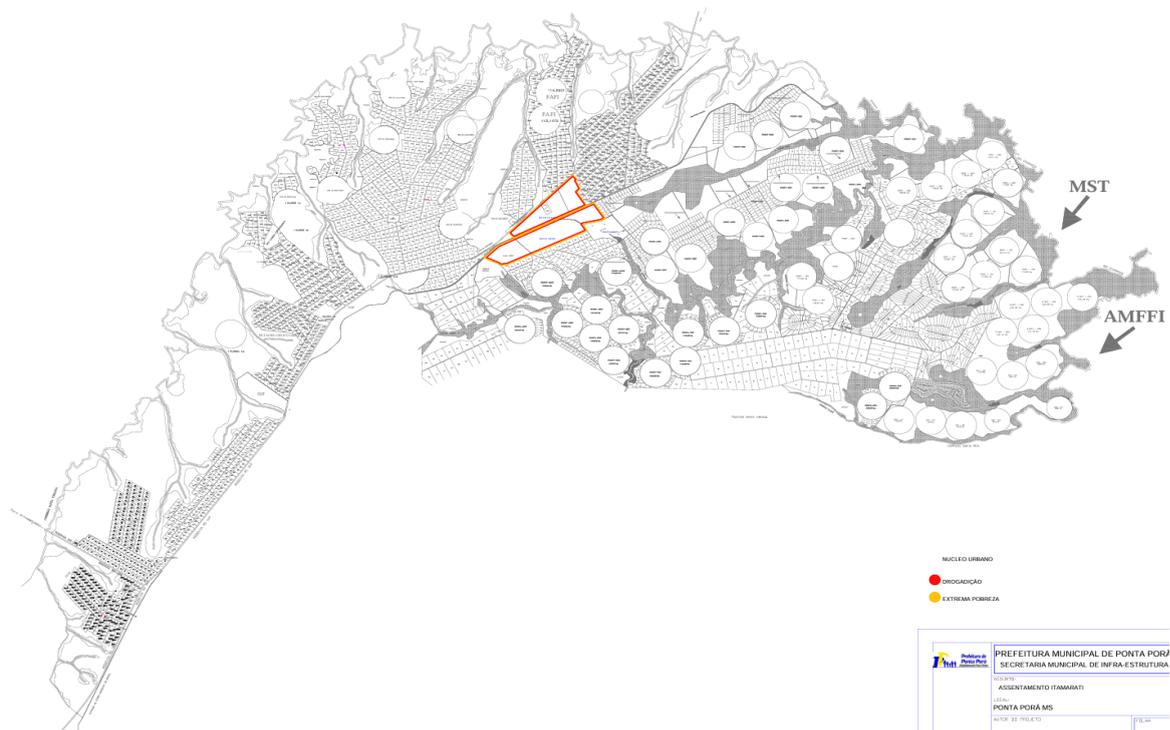


Figura 1- Assentamento rural Itamarati, distrito Nova Itamarati, Ponta Porã-MS. Fonte: Prefeitura Municipal de Ponta Porã.

Os parâmetros físicos e químicos da água foram medidos mensalmente, antes da coleta dos peixes. Temperatura, oxigênio dissolvido, pH foram medidos usando uma sonda multiparâmetro Hanna HI9829®, e a Amônia total foi medida usando o teste colorimétrico AlfaKit® ([www.alfakit.com.br](http://www.alfakit.com.br)). A qualidade da água estava dentro da faixa recomendada para produção de peixes tropicais, sendo refletida através das médias simples das variáveis (Boyd e Tucker, 1998).

O estudo foi aprovado previamente pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA), sob o número de protocolo 24001, garantindo que todos os procedimentos envolvendo a captura e o manejo dos peixes seguissem as diretrizes éticas e legais para o uso de animais em pesquisas científicas.

Os peixes foram coletados diretamente dos tanques-rede por uma equipe de alunos, utilizando puçás e redes de pesca. Após a captura, os exemplares foram transportados para a residência de um dos piscicultores, onde foi montado um laboratório improvisado para a realização dos procedimentos subsequentes. Para anestésiar os peixes, utilizou-se eugenol, um composto fenólico volátil de baixo custo, principal constituinte do óleo extraído do cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*) (Mazzafera, 2003). Algumas gotas de eugenol (95%) foram adicionadas à água do recipiente contendo os peixes até que atingissem um estado de anestesia profunda.

Teste de Micronúcleo: após a anestesia, foram confeccionadas duas lâminas de esfregaço sanguíneo para cada peixe. O sangue foi coletado utilizando seringas de diferentes tamanhos, conforme a necessidade de cada amostra e as lâminas feitas em duplicata foram coradas com o método May-Grünwald-Giemsa-Wright (MGGW), permanecendo em local com pouca iluminação por 10 minutos antes de serem enxaguadas com água potável da residência. As lâminas foram analisadas em microscópio no Laboratório Integrado de Pesquisa e Extensão Rural da UFGD. Em cada lâmina, foram examinados dois campos microscópicos, com a contagem de, no mínimo, mil células por campo. Para cada peixe, uma ou duas lâminas foram utilizadas, contabilizando a frequência de micronúcleos presentes nas células sanguíneas.

Para a análise estatística dos dados relacionados à frequência de micronúcleos, inicialmente foram avaliados os pressupostos de normalidade e homocedasticidade. A comparação da frequência de micronúcleos entre os meses de coleta foi realizada utilizando o teste de Kruskal-Wallis, um método não paramétrico adequado para detectar diferenças entre múltiplos grupos independentes. Já a comparação entre as propriedades foi conduzida por meio do teste de Mann-Whitney, apropriado para comparar dois grupos independentes, mesmo em condições de ausência de normalidade nos dados. Ressalta-se que não há dados referentes ao mês de maio, uma vez que as fortes chuvas desse período impossibilitaram o acesso às propriedades e a realização das coletas.

Para avaliar a influência das variáveis físicas e químicas da água na frequência de micronúcleos, o Modelo Linear Generalizado (GLM), foi utilizado, a distribuição binomial negativa, adequada para dados de contagem. A frequência de micronúcleos, refere-se à quantidade de micronúcleos registrados nos esfregaços realizados para cada peixe. As análises foram realizadas no software R (R Core Team, 2021).

## **RESULTADOS**

As médias das variáveis físicas e químicas da água foram analisadas (Figura 2), revelando os valores médios de pH, oxigênio dissolvido, amônia e temperatura registrados ao longo do período de estudo. Separadamente, a análise pelo Modelo Linear Generalizado (GLM) foi conduzida para avaliar a influência dessas variáveis na frequência de micronúcleos (Figura 3). Os resultados indicaram que pH (GLM;  $p = 0,39851$ ), oxigênio dissolvido (GLM;  $p = 0,08809$ ), amônia (GLM;  $p = 0,8800$ ) e temperatura (GLM;  $p = 0,8800$ ) não apresentaram relação significativa com a frequência de micronúcleos, com as linhas de tendência

permanecendo praticamente horizontais (Figura 4), sugerindo ausência de impacto relevante dessas variáveis.

Parâmetros	Propriedade 1	Propriedade 2
Temperatura	27,9	27,4
pH	6,9	6,8
Oxigênio dissolvido	7,98	8,29
Amônia	0,24	0,12

Figura 2 - Médias simples das variáveis físicas e químicas da água analisadas (pH, oxigênio dissolvido, amônia total e temperatura). As médias das variáveis não mostraram diferenças significativas.

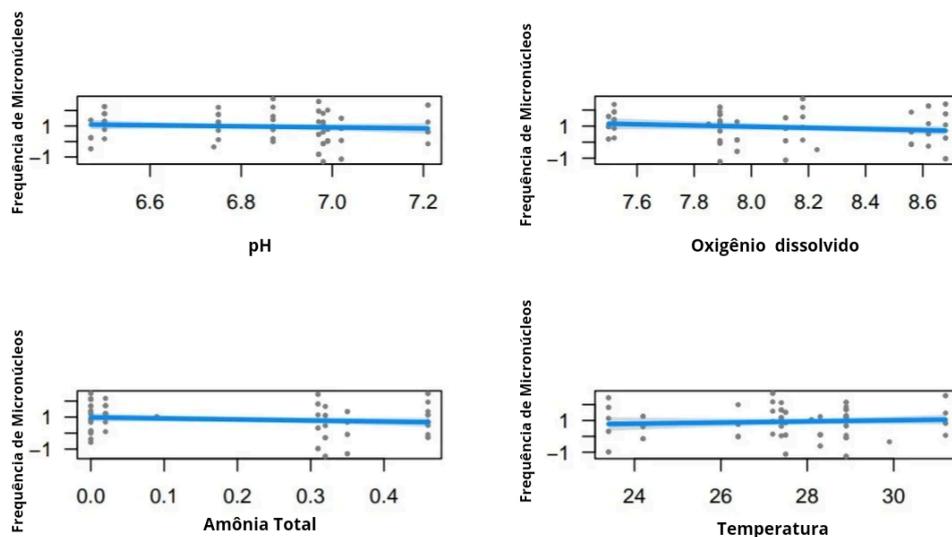


Figura 3 - Relação entre as variáveis físicas e químicas da água (pH, oxigênio dissolvido, amônia total e temperatura) e a frequência de micronúcleos. Nenhuma das variáveis apresentou influência significativa ( $p > 0,05$ ) sobre a frequência de micronúcleos conforme a análise do Modelo Linear Generalizado (GLM).

Em relação à frequência de micronúcleos nas células sanguíneas analisadas (Figura 5), verificou-se uma diferença significativa entre os meses avaliados, com destaque para fevereiro (Figura 5). O teste de Kruskal-Wallis ( $p < 0,01$ ) confirmou diferenças estatísticas na frequência de micronúcleos entre os meses. Ademais, ao comparar as propriedades, o teste de Mann-Whitney ( $W = 12118$ ,  $p = 0,05$ ) indicou uma diferença marginal, com a propriedade 1 apresentando indivíduos com maior frequência de micronúcleos em comparação à propriedade 2 (Figura 6).

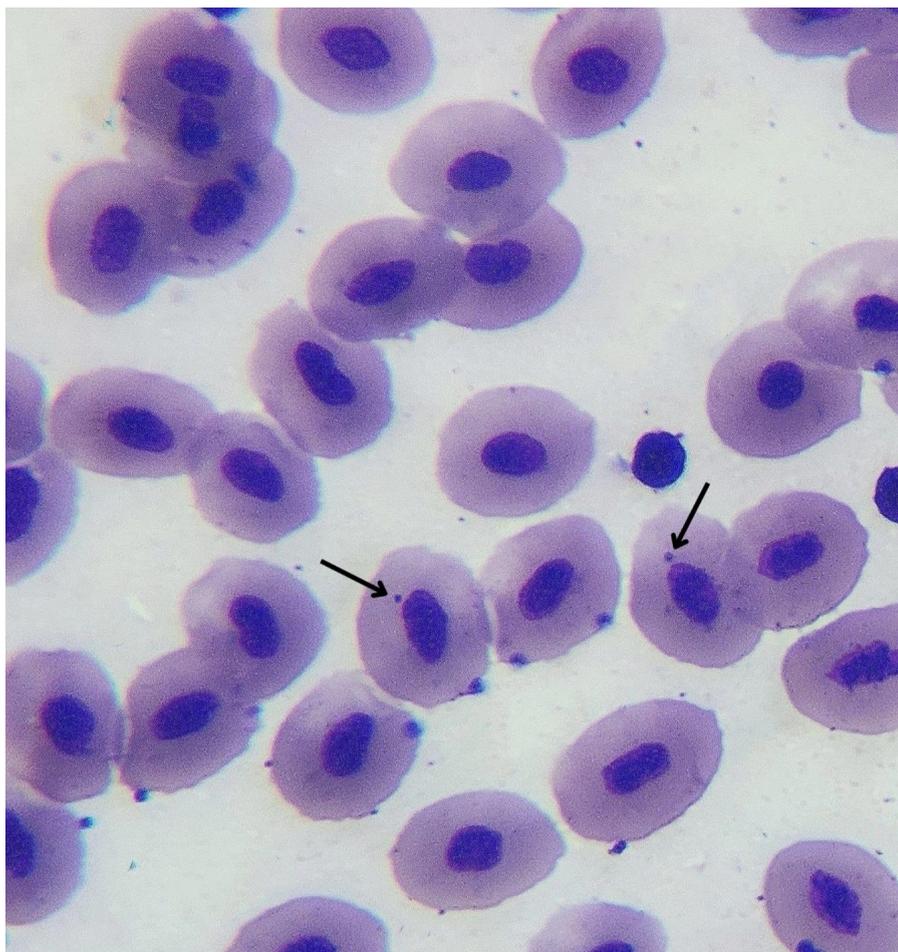


Figura 4 - Micronúcleos em células sanguíneas de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*)

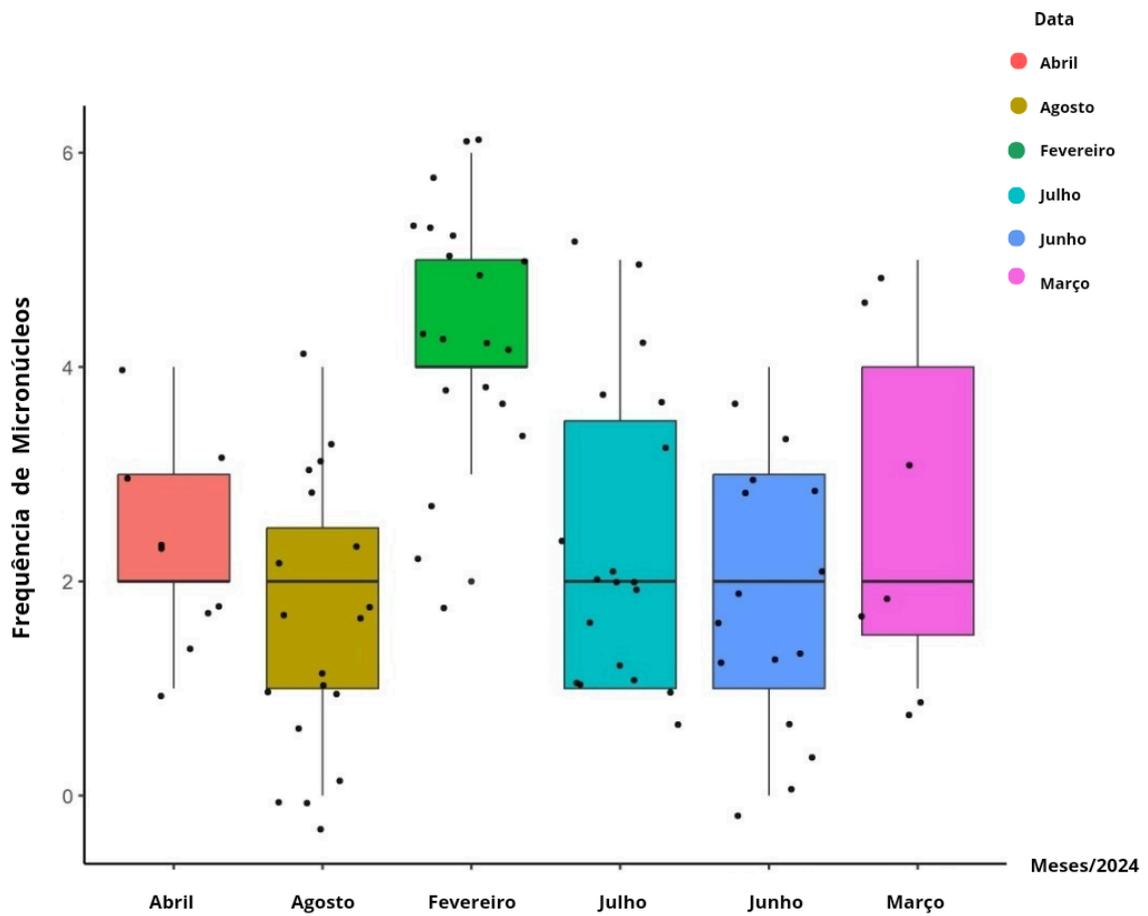


Figura 5 - Variação da frequência de micronúcleos ao longo dos meses analisados. Os resultados do teste de Kruskal-Wallis indicaram uma diferença entre os meses, sugerindo variação temporal.

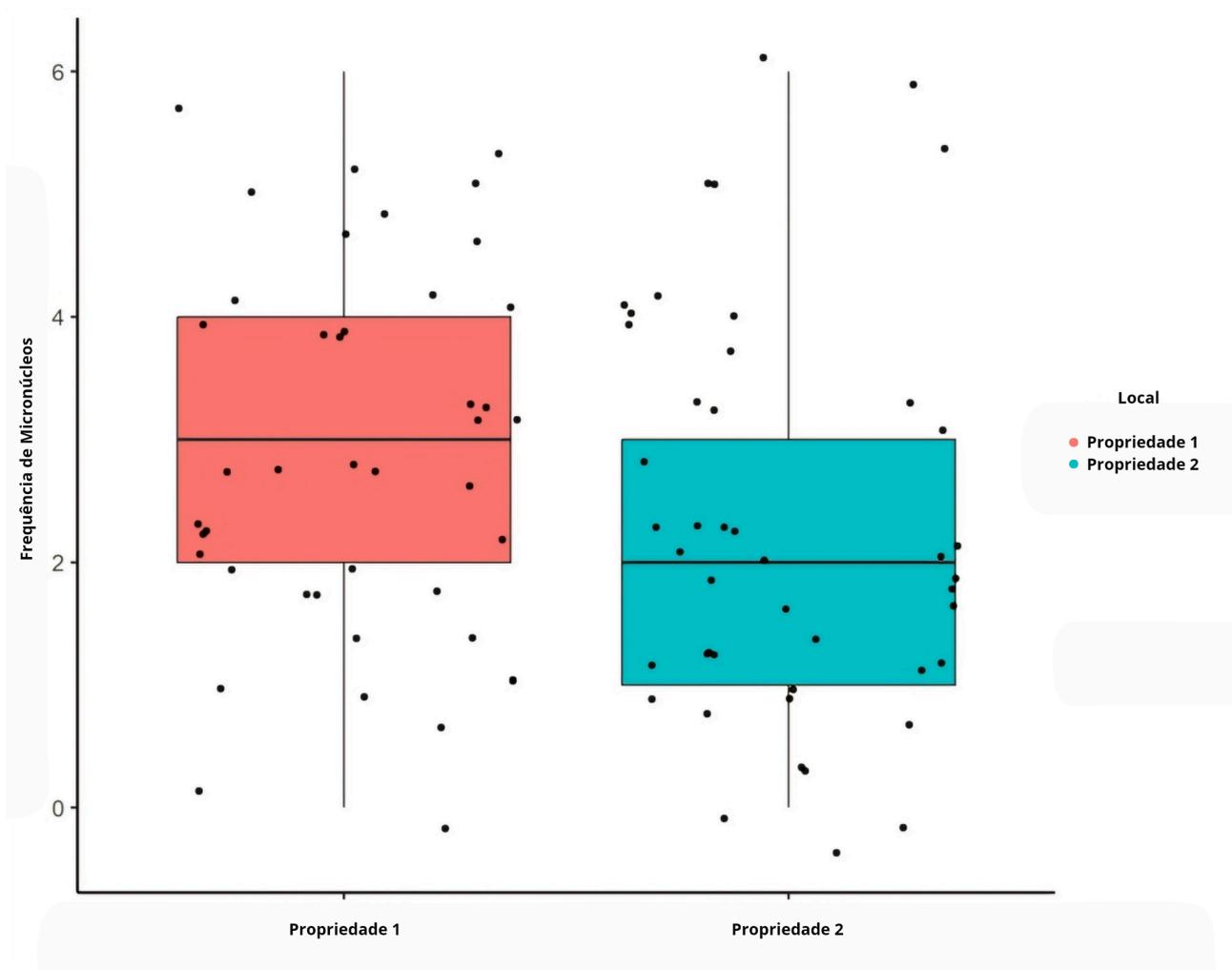


Figura 6 - Variação da frequência de micronúcleos entre as propriedades do assentamento Itamarati, Ponta Porã, MS.

## DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo mostraram que a frequência de micronúcleos (MN) nos peixes não apresentou uma correlação estatisticamente significativa com as variáveis ambientais avaliadas, incluindo pH, oxigênio dissolvido, amônia total e temperatura. Esses achados sugerem que, embora esses fatores possam ter um impacto nos organismos aquáticos, os níveis observados no estudo não foram suficientes para causar alterações genotóxicas significativas.

No entanto, observou-se uma variação notável na frequência de micronúcleos durante o mês de fevereiro, período caracterizado por chuvas intensas, com um acumulado de 170,18 mm (The Weather Channel, 2024). Esses dados estão em conformidade com a média histórica dos últimos 30 anos fornecida pelo Climatempo (2024), que aponta fevereiro como um dos meses mais chuvosos em Ponta Porã, com média de 176 mm. Essa variação sazonal, pode

estar relacionada ao escoamento superficial e ao transporte de sedimentos para os tanques rede, o que pode ter introduzido poluentes adicionais e contribuído para o aumento na frequência de MN. Estudos similares também observaram que a variação sazonal na frequência de MN pode ser influenciada por mudanças nos níveis de precipitação, afetando a concentração de contaminantes e, conseqüentemente, a saúde dos organismos aquáticos (Buschini et al., 2004; Wirzinger et al., 2007).

Além disso, a ausência da associação entre a frequência de MN e as variáveis ambientais registradas neste estudo, pode indicar que outros fatores não mensurados podem estar influenciando o dano genético nos peixes. Por exemplo, é possível que flutuações na matéria orgânica e parâmetros microbiológicos associados a descargas urbanas estejam contribuindo para os danos observados (Gutierrez et al., 2019). Estudos anteriores demonstraram que peixes podem concentrar poluentes, e a exposição crônica a agentes mutagênicos, mesmo em baixas concentrações, pode levar ao aumento da frequência de MN (Udroi, 2006; Bolognesi & Hayashi, 2011; Batista et al., 2016; Rebok et al., 2017; Pinheiro-Sousa et al., 2019).

A propriedade 1, em particular, apresentou uma maior frequência de MN em comparação com a propriedade 2. Isso sugere que fatores específicos dessa propriedade, possivelmente relacionados a características locais do ambiente, podem estar contribuindo para a variação observada na frequência de MN. O estudo de Silva et al. (2020) indicou que a água e os sedimentos podem ter efeitos genotóxicos relacionados ao grau de urbanização, o que pode explicar a diferença entre as duas propriedades.

Em suma, embora as variáveis ambientais avaliadas não tenham demonstrado uma relação direta com a frequência de micronúcleos neste estudo, fatores como sazonalidade, aporte de efluentes domésticos e industriais e o estado trófico do ambiente podem influenciar a genotoxicidade, contribuindo para o aumento da frequência de micronúcleos (Rezende et al., 2014). A continuidade de estudos sobre o impacto de diferentes fontes de poluentes e a monitoração a longo prazo são essenciais para entender melhor os fatores que contribuem para a variação da frequência de MN em ambientes

## CONCLUSÕES

Este estudo evidenciou que as variáveis físico-químicas da água analisadas, pH, oxigênio dissolvido, amônia total e temperatura, não apresentaram influência significativa sobre a frequência de micronúcleos em tilápias-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). No entanto, fatores não avaliados podem ter interferido nos resultados. A maior incidência de micronúcleos em

fevereiro sugere que condições sazonais, como o aumento do escoamento superficial durante o período chuvoso, contribuíram para a introdução de poluentes no ambiente de cultivo. Além disso, a diferença marginal entre as propriedades indica que condições ambientais locais podem ter impactado a saúde dos peixes. A utilização do teste de micronúcleos demonstrou-se uma ferramenta eficaz para monitorar danos genéticos e avaliar a qualidade ambiental. Esses resultados reforçam a necessidade de um monitoramento contínuo e de estratégias sustentáveis para a tilapicultura, visando a conservação dos recursos naturais e a saúde dos ecossistemas aquáticos.

### **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos o apoio financeiro da Prefeitura Municipal de Ponta Porã, através do convênio com o Projeto CDR, o Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA) através do financiamento do Projeto Piscicultura familiar sustentável: projeto piloto no assentamento rural Itamarati, ao CNPq, FUNDECT e UFGD.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, NPL; ASSIS, RA; SANTOS, CGA et al. Recuperação de eritrócitos em peixes *Oreochromis niloticus* expostos a efluentes urbanos. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 112, p. 15, 2024.

ARSLAN, OC; BOYACIOGLU, M; PARLAK, H; KATALAY, S; KARAASLAN, MA. Avaliação da indução de micronúcleos em células sanguíneas periféricas e branquiais de algumas espécies de peixes da Baía de Aliaga, Turquia. *Marine Pollution Bulletin*, v. 94, p. 48–54, 2015.

BATISTA, NJ; CAVALCANTE, AACM; OLIVEIRA, MG; MEDEIROS, EC; MACHADO, JL; EVANGELISTA, SR; DIAS, JF; SANTOS, CED; DUARTE, A; SILVA, FRD; SILVA, J. Genotoxic and mutagenic evaluation of water samples from a river under the influence of different anthropogenic activities. *Chemosphere*, v. 164, p. 134–141, 2016.

BOLOGNESI, C; HAYASHI, M. Micronucleus assay in aquatic animals. *Mutagenesis*, v. 26, p. 205–213, 2011.

BUSCHINI, A. et al. Comet assay and micronucleus test in circulating erythrocytes of *Cyprinus carpio* specimens exposed in situ to lake waters treated with disinfectants for potabilization. *Mutation Research*, v. 557, p. 119–129, 2004.

CANEDO, A; JESUS, LWO; BAILÃO, EFLC; ROCHA, TL. Teste de micronúcleo e ensaio de anormalidade nuclear em peixe-zebra (*Danio rerio*): tendências passadas, presentes e futuras. *Environmental Pollution*, v. 290, p. 118019, 2021.

CLIMATEMPO. Climatologia e histórico de previsão do tempo em Ponta Porã, BR 2024. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/754/pontapora-ms>.

FAO. O estado da pesca e da aquicultura mundial 2022. Rumo à transformação azul. FAO, 2022.

FAO. O Estado Mundial da Pesca e da Aquicultura 2018 - Alcançando os objetivos de desenvolvimento sustentável. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), Roma, Itália, 210 p., 2018.

FIEP. Manual técnico sobre piscicultura. Federação das Indústrias do Estado do Paraná, 2019.

GUTIÉRREZ, Juan Manuel; VILLAR, Silvia; ACUÑA PLAVAN, Alicia. Teste de micronúcleos em peixes como indicadores de qualidade ambiental em subestuários do Río de la Plata (Uruguai). Boletim de poluição marinha, v. 91, n. 2, p. 518–523, 2015.

HADDAD, Sasha Aline Gomes et al. A ascensão econômica da tilápia no Brasil: viabilidade e perspectivas para um investimento aquícola em Campos dos Goytacazes-RJ. Revista de Extensão UENF, v. 8, e023001, 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa da Pecuária Municipal 2017, 2018 e 2019.

JENNINGS, S.; STENTIFORD, GD; LEOCADIO, AM; JEFFERY, KR; METCALFE, JD; KATSIADAKI, I; et al. Segurança alimentar aquática: insights sobre desafios e soluções a partir de uma análise das interações entre pesca, aquicultura, segurança alimentar, saúde humana, peixes e bem-estar humano, economia e meio ambiente. Fish and Fisheries, v. 17, p. 893–938, 2016.

KAISER, M.; STEAD, SM. Incertezas e valores da aquicultura europeia: questões de comunicação, gestão e política em tempos de mudança de percepções públicas. Aquaculture International, v. 10, p. 469–490, 2002.

KARR, JR. Avaliação da integridade biótica usando comunidades de peixes. Fisheries, v. 6, n. 6, p. 21–27, 1981.

KRUPINA, K.; CLEVELAND, GA, DW. Causas e consequências dos micronúcleos. Current Opinion in Cell Biology, v. 70, p. 91–99, 2021.

LE GOUVELLO, R.; HOCHART, L.-E.; LAFFOLEY, D.; SIMARD, F.; ANDRADE, C.; ANGEL, D.; et al. Aquicultura e áreas marinhas protegidas: potenciais oportunidades e sinergias. *Conservation Aquatic: Marine and Freshwater Ecosystems*, v. 27, S1, p. 138–150, 2017.

LEMONS, MA; GARCIA, JC; VALE, CEGD; TOYAMA, HA; ABRAHÃO, IS. Laudo de avaliação Fazenda Itamarati. [S.l.]: INCRAMS, 2000.

MAZZAFERA, P. Efeito alelopático do extrato alcoólico do cravo-da-índia e eugenol. *Brazilian Journal of Botany*, v. 26, n. 2, p. 231–238, 2003.

PEIXE BR. Anuário da Piscicultura 2020. Associação Brasileira da Piscicultura, 2020.

PEIXE BR. Anuário da Piscicultura 2023. Associação Brasileira da Piscicultura, 2023.

PINHEIRO-SOUSA, DB; TORRES JUNIOR, AR; SILVA, D.; SANTOS, RL; FORTES CARVALHO NETA, RNA. A screening test based on hematological and histological biomarkers to evaluate the environmental impacts in tambaqui (*Colossoma macropomum*) from a protected area in Maranhão, Brazilian Amazon. *Chemosphere*, v. 214, p. 445–451, 2019.

REBOK, K.; JORDANOVA, M.; SLAVEVSKA-STAMENKOVIĆ, V.; IVANOVA, L.; KOSTOV, V.; STAFILOV, T.; ROCHA, E. Frequencies of erythrocyte nuclear abnormalities and of leucocytes in the fish *Barbus peloponnesius* correlate with a pollution gradient in the River Bregalnica (Macedonia). *Environmental Science and Pollution Research*, v. 24, p. 10493–10509, 2017.

REZENDE, K. F. et al. Histopathological and genotoxic effects of pollution on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758) in the Billings Reservoir (Brazil). *Toxicology Mechanisms and Methods*, v. 24, n. 6, p. 402–411, 2014.

STEAD, SM. Usando pensamento sistêmico e inovação aberta para fortalecer a política de aquicultura para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas. *Journal of Fish Biology*, v. 94, p. 837–844, 2019.

SUSSEL, Fábio Rosa. Criação de tilápias cresce vigorosamente no Brasil. Anualpec 2011 - Anuário da Pecuária Brasileira. Editora FNP, 2011.

TUCH, H. Biologia e cultivo de peixes tropicais. 1999.

THE WEATHER CHANNEL. Clima para o mês - Ponta Porã, Mato Grosso do Sul 2024.

Disponível em:

<https://weather.com/pt-BR/clima/mensal/l/Ponta+Por%C3%A3+Mato+Grosso+do+Sul?canonicalCityId=8c06c094ee671262dc54c50c9b2959a628d46e3381d90979135c82b0b953ebcc>.

WAGNER, C.; VALENTI, H.P.; BARROS, P.; MORAES-VALENTI, P.; BUENO, GW.; CAVALLI, RO. Aquaculture in Brazil: past, present and future. Aquaculture Reports, v. 19, 2021.

WILLETT, W.; ROCKSTRÖM, J.; LOKEN, B.; SPRINGMANN, M.; LANG, T.; VERMEULEN, S.; GARNETT, T.; TILMAN, D.; DECLERCK, F.; WOOD, A.; JONELL, M.; CLARK, M.; GORDON, L.; FANZO, J.; HAWKES, C.; ZURAYK, R.; RIVERA, JA; DE VRIES, W.; MAJELE SIBANDA, L.; MURRAY, CJL. Alimentos no Antropoceno: A comissão EAT-lancet sobre dietas saudáveis a partir de sistemas alimentares sustentáveis. The Lancet, v. 393, p. P447–P492, 2019.

WIRZINGER, G.; WELTJE, L.; GERCKEN, J.; SORDYL, H. Genotoxic damage in field-collected three-spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* L.): A suitable biomonitoring tool? Mutation Research, v. 628, p.