



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ALTAMIRA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

LETICIA LIMA CORREIA

**AVALIAÇÃO DA GENOTOXICIDADE DE *Cichla melaniae* NO RIO  
XINGU EM AMBIENTES IMPACTADOS PELA USINA  
HIDRELÉTRICA DE BELO MONTE**

Altamira-Pará  
2019

LETICIA LIMA CORREIA

**AVALIAÇÃO DA GENOTOXICIDADE DE *Cichla melaniae* NO RIO  
XINGU EM AMBIENTES IMPACTADOS PELA USINA  
HIDRELÉTRICA DE BELO MONTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Pará, Campus de Altamira, como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciado em Ciências Biológicas.

Orientadora: Profa. Dra. Tatiana da Silva Pereira

Altamira-Pará  
2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

C824a    Correia, Leticia Lima Correia  
          AVALIAÇÃO DA GENOTOXICIDADE DE *Cichla melaniae*  
          NO RIO XINGU EM AMBIENTES IMPACTADOS PELA  
          USINA HIDRELÉTRICA DE BELO MONTE / Leticia Lima  
          Correia Correia. — 2019.  
          25 f. : il. color.

          Orientador(a): Prof<sup>ª</sup>. Dra. Tatiana da Silva Pereira Pereira  
          Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de  
          Ciências Biológicas, Campus Universitário de Altamira,  
          Universidade Federal do Pará, Altamira, 2019.

          1. Micronucleo, Anomalias nucleares, Mineração. I. Título.

CDD 571.95

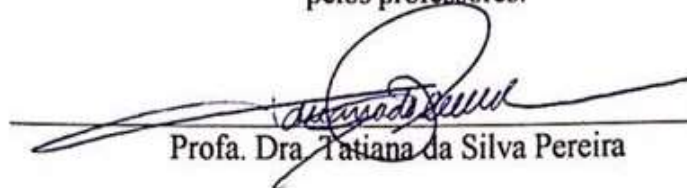
---

LETICIA LIMA CORREIA


**AVALIAÇÃO DA GENOTOXICIDADE DE *Cichla melaniae* NO RIO  
XINGU EM AMBIENTES IMPACTADOS PELA USINA  
HIDRELÉTRICA DE BELO MONTE**

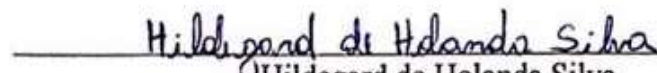
Trabalho de Conclusão de Curso submetido à aprovação como requisito parcial para obtenção de grau de Licenciado em Ciências Biológicas, pela banca examinadora formada pelos professores:

**Orientadora:**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Tatiana da Silva Pereira  
Faculdade de Ciências Biológicas- UFPA

**Banca examinadora:**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Magali Gonçalves Garcia  
Faculdade de Ciências Biológicas- UFPA

  
\_\_\_\_\_  
Hildegard de Holanda Silva

Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação

**Suplentes:**

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Hermes Fonseca de Medeiros  
Faculdade Ciências Biológicas-UFPA

\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Flávia Costa Biondi  
Faculdade de Ciências Biológicas -UFPA

Altamira-Pará, 13 de Dezembro de 2019



A persistência é o caminho do êxito.

Charles Chaplin

*A todos que estiveram comigo e fizeram  
parte dessa conquista.  
Dedico.*

## VII

### AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Pará *campus* Altamira.

A Faculdade de Ciências Biológicas.

A PROEX pela bolsa de extensão e ao PROPESP pela bolsa PIBIC concedida.

Aos professores por todo conhecimento repassado.

Ao Laboratório de Aquicultura de Peixes Ornamentais do Xingu pelo acolhimento e toda a experiência concedida durante o tempo de estágio.

Ao professor Leandro, Hildegard, Erilda, Ole, Iann e todas as outras pessoas que ajudaram nas coletas.

À técnica laboratorial Tereza pela ajuda em laboratório com a preparação do tampão para a coloração das lâminas.

Ao Hildegard, professora Karina e professor Thiago pela ajuda na estatística.

Aos colegas de laboratório Diones, Mayllon, Cida, Adriely e aos demais pelas conversas, troca de experiência e conhecimento.

Aos colegas da turma Bio 2016 pelas conversas, festas, aula de campo por tudo que vivemos durante os quatro anos de curso, por me mostrar que podemos aprender mesmo com as brigas. Mas apesar de tudo por todos os momentos e perrengues vividos.

À Didi e Vanessa por todo companheirismo, amizade, risadas, merendas e trabalhos realizados.

A todos os meus outros amigos Natasha, Sabrina, Beatriz, Sidiney pelo apoio antes da graduação.

À minha orientadora, profa Tatiana por tudo que me ensinou, pelos conselhos não só nos trabalhos acadêmicos mais também sobre a vida, pelo companheirismo, por ter sido como uma mãe pra mim na graduação, por me apresentar a Ecotoxicologia e por não ter desistido de mim, por ter sido a melhor orientadora que eu poderia ter.

Às minhas amigas Deuvanete e Maiara que vou levar pra vida. Só tenho a agradecer vocês por toda a força, por não me deixar desistir, sempre me ajudando no que eu precisava e me apoiando nas minhas decisões malucas.

Ao Vanderlan que esteve comigo durante muitos anos e por ter me ajudado de forma direta e indireta.

À minha família Correia e Lima por todo apoio durante antes e durante a graduação.

À minha prima Lillian, que me inscreveu no curso e ficou de olho em todas as chamadas que saiam, por ser sempre positiva e ter acreditado em mim, muito obrigada.

À minha vó Lola pelo apoio diário e a vó Antônia pelos melhores conselhos que uma avó poderia dar para uma neta.

À minha mãe Xirlei, meu pai Miltom e meu irmão José por terem me aguentado durante toda a minha vida e nesses últimos anos em especial, por me aturarem, apoiarem e estarem comigo nos momentos bons e ruins. Meus sinceros agradecimentos. Amo vocês! A gente conseguiu.

A Deus por tudo.

## VIII

### RESUMO

Com o aumento da população humana o uso dos recursos não renováveis vem sendo amplamente utilizados. A construção de usinas hidrelétricas para geração de energia, o aumento do desmatamento de florestas nativas para recursos madeireiros, criação de bovinos e também do agronegócio, vem crescendo cada vez mais, causando sérios problemas ambientais, como a intensificação do aquecimento global e poluição dos recursos hídricos. A construção de hidrelétricas não só na Amazônia, mas também em outros locais do mundo ocasionam problemas como a formação de reservatórios, eutrofização de rios e lagos que facilitam a bioacumulação e biomagnificação de metais pesados e agentes genotóxicos em espécies nativa. Com isso, o trabalho teve o objetivo de analisar a exposição do *Cichla melaniae* (tucunaré) em quatro pontos de coleta, dentro e fora do reservatório da Usina Hidrelétrica de Belo Monte quanto aos possíveis danos de contaminação ambiental. Foi analisado através do teste de micronúcleo (MN) 1000 eritrócitos por peixe, com aumento de 100x em um microscópio óptico, as lâminas foram coradas com Giemsa a 5%. Entre os pontos de coleta não houve diferença significativa para o teste de MN. Para as anomalias nucleares não foi possível observar muitas variações entre os pontos de coleta, porém o ponto VG1 apresentou uma maior variação para invaginação em comparação aos outros pontos. Mostrando que áreas sobre influência de usinas, mineração de ouro e agricultura podem sofrer mudanças no seu ecossistema e causar efeitos genotóxicos em espécies nativas.

Palavras-chave: Anomalias nucleares, Micronúcleo, Mineração.

## IX

### ABSTRACT

Under increase of human population, the use of nonrenewable resources has been broadly used. The hydroelectric power plants building, the rise up native forests deforestation for timber resources, cattle beef grazing and agribusiness are causing serious environmental troubles, such as the Global Warming intensification and water resources pollution. The hydroelectric dams building not only in the Amazon, but also in other sites around the world causes troubles due to the reservoir formation, rivers and lakes eutrophication as well as ease the bioaccumulation and biomagnification at native species. Thus, the target of this Academic Study is analyzing the exposure of *Cichla melaniae* (tucunaré) at four collection points, inside and outside the Belo Monte Hydroelectric Power Plant reservoir over possible damage by environmental contamination. It was analyzed through micronucleus (MN) test 1000 erythrocytes per fish, with 100x magnification under an optical microscope, the slides were stained with 5% Giemsa. Among the collection points there was no significant difference for the NM test. For the nuclear anomalies, it was not possible to observe many variations among the collection points, but the point VG1 presented a greater variation for invagination, compared to the other points. Revealing that areas under the influence of Hydroelectric, Gold Mining and Agriculture can have changes in their ecosystem and cause genotoxic effects on native species.

Keywords: Nuclear anomalies, Micronucleus, Mining.

## LISTA DE FIGURAS E TABELAS

<b>Figura 1:</b> Formação do micronúcleo.....	4
<b>Figura 2:</b> <i>Cichla melaniae</i> espécie de estudo.....	5
<b>Tabela 1:</b> Pontos de amostragem no rio Xingu.....	7
<b>Figura 3:</b> Mapa dos locais de coleta no rio Xingu.....	8
<b>Figura 4:</b> Preparação das lâminas para o esfregaço.....	10
<b>Figura 5:</b> Esfregaço sanguíneo.....	10
<b>Figura 6:</b> Eritrócitos de <i>Cichla melaniae</i> corados com Giemsa.....	10
<b>Tabela 2:</b> Parâmetros físico-químicos nos pontos de amostragem no Xingu.....	11
<b>Tabela 3:</b> Número de peixes e MN em cada local de coleta.....	12
<b>Tabela 1:</b> Quantidade total de anomalias nucleares encontradas em cada ponto de coleta.....	13
<b>Figura 7:</b> Comparação de invaginações nucleares entre os pontos amostrados no rio Xingu.....	13
<b>Figura 8:</b> Análise de componentes principais PCA realizada com os dados das anomalias celulares dos eritrócitos de <i>Cichla melaniae</i> do rio Xingu. A) Correlação entre as variáveis, frequência de ocorrência de anomalias celulares com o primeiro e o segundo eixo da PCA. B) Posição das unidades amostrais, categorizadas por local de coleta do espaço multidimensional. .....	14

XI  
**SUMÁRIO**

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>6</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	6
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>7</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	7
3.2 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.....	9
3.3 COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS.....	9
3.4 ANÁLISE DE DADOS.....	10
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	11
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>11</b>
<b>5. DISCUSSÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>18</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O sucessivo crescimento da população humana por todo o globo acarreta vários problemas ambientais, como a crescente demanda pela expansão de centros urbanos, ocasionando numa necessidade de explorar cada vez mais os recursos naturais e justificar o aumento na produção de alimentos (MCKINNEY, 2006; LAL, 2007 ). O aumento das fronteiras agrícolas, principalmente pela plantação de soja e a ampliação das atividades pecuaristas, não vem prejudicando apenas os ecossistemas terrestres, mas também os aquáticos (RÍOS-VILLAMIZAR et al., 2017).

Recursos hídricos são afetados por uma série de fatores, como mudanças climáticas, geração de energia hidrelétrica, desmatamento, expansão agrícola e urbana, ocorrendo assim um declínio na biodiversidade no compartimento aquático (SUSKI et al., 2007; HERING et al., 2015). Mudanças na hidrologia dos rios também podem ocorrer (VÖRÖSMARTY et al., 2010; COLLEN et al., 2014; WOODWARD et al., 2014; FUGÈRE et al., 2016), causando grande degradação e aumento no volume dos sedimentos (VOROSMARTY et al., 2010; LINTERN et al., 2018). Com o aumento dessas ações antropogênicas, os níveis de poluição em rios, córregos e oceanos estão sendo maiores, ameaçando o fornecimento de água potável e dos recursos pesqueiros (DUGAN et al., 2010; WWAP , 2015; GEISSEN et al., 2015). Em vários rios vêm ocorrendo a perda da qualidade da água (GLEICK et al., 1993; LOUCKS et al., 2005), como por exemplo na China que já foi afetada em mais de 45% de seus corpos hídricos(VOROSMARTY et al., 2010).

Ao redor do mundo países em desenvolvimento estão ampliando a energia hidrelétrica para atender a demanda que vem aumentando cada dia mais. No Congo, Mekong mais de 200 hidrelétricas estão sendo planejadas e na Amazônia legal, esse

número é de 200 barragens para os próximos 30 anos, sendo 30 grandes e 170 pequenas barragens (LAURANCE et al., 2001; SOARES-FILHO et al., 2006; WINEMILLER et al., 2016; TIMPE et al., 2017). A construção de hidrelétricas na Amazônia é apenas um exemplo dos crescentes impactos que esse bioma vem sofrendo, causando desmatamento e poluição (CASTELLO et al., 2013). Porém esses impactos relacionados a energia hidrelétrica continuam sem respostas.

A bacia amazônica é a maior do mundo (VENTICINQUE et al., 2016), nela existe uma abundância significativa de corpos hídricos, incentivando a exploração desses como recursos energéticos (ALQUERES & PRACA, 1991).

No entanto, é preciso enfatizar que sem um planejamento cauteloso, a criação de usinas hidrelétricas causará sérios danos sociais e ambientais (BERCHIN et al., 2015). Fatores como a desestruturação do ambiente, locomoção de um grande número de pessoas, interferência em territórios indígenas ou de populações tradicionais, alterações no regime hídrico e na morfologia dos corpos d'água, causando impactos na fauna aquática estão entre esses danos (DE LIMA & DOS SANTOS, 2015). Os agravos ocasionados nos corpos aquáticos podem ser significativos e muitas vezes irreversíveis e a extinção de espécies devido à modificação da vegetação nativa (WCD, 2000).

A poluição antropogênica afeta ecossistemas e organismos em todo o mundo. Os sistemas aquáticos de água doce são particularmente preocupantes devido à sua importância para os meios de subsistência (PETERSON, SCHULTE, 2016).

Ambientes levemente contaminados também podem afetar a vida aquática devido à exposição crônica dos organismos (NIPPER et al., 1998). A exposição a esses contaminantes podem ocorrer danos ao DNA quando os organismos são expostos a algum tipo de contaminação (GUSSO-CHOUERI et al., 2016). Com isso, muitos

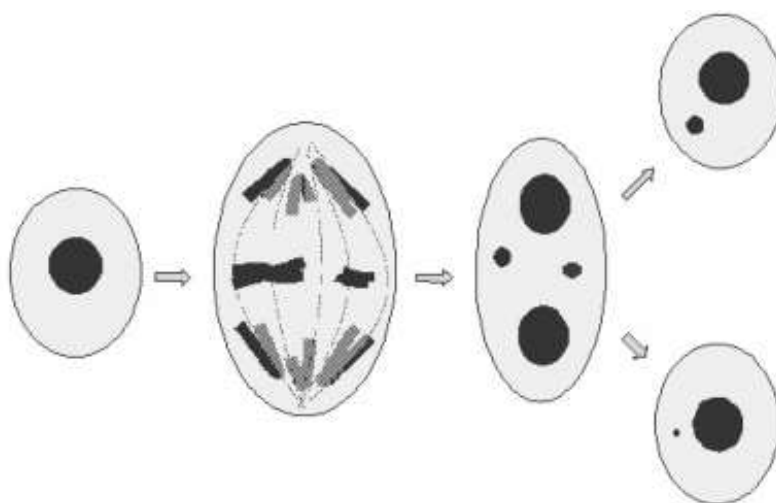
trabalhos vêm sendo feitos em represas e reservatórios para avaliar os possíveis poluentes aquáticos que estariam afetando de alguma forma esses ambientes antropizados (GHREFAT, 2006; MORLEY, 2007; ÇEVİK et al., 2009; ZHIJING et al., 2011; CHEN et al., 2016; JACKSON 2016; WONG et al., 2017).

Na região do médio Xingu, no Pará teve início em 2011 a construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte (UHEBM) (FERREIRA, 2013). A UHEBM foi construída ao longo do rio Xingu no seu curso inferior sendo a segunda maior do país e a terceira maior do mundo em termos de capacidade instalada com 11.200 megawatts de potência e a maior totalmente brasileira (IBAMA, 2007; HALL et al., 2012).

Um dos maiores impactos causado pela UHEBM é a formação dos reservatórios, que ocasionou o alagamento de grandes áreas (MIRANDA et al., 1988). Um reservatório nesse local gerou e vem gerando inúmeros impactos na região, devido a redução do volume de água a jusante da barragem, tais como a perda de espécies, formação de ambientes lênticos, aumento da eutrofização e a perda de parques arqueológicos (CUNHA, 2009; FEARNside, 2012; ROSCOCHE, 2014).

Já é bem conhecido que agentes químicos, biológicos e fisiológicos podem interagir com o material genético resultando em mutações (MULLER et al., 1928; BEALE, 1993; MALLING, 2004). Inicialmente o teste do micronúcleo (MN) foi um método proposto principalmente para rastrear produtos químicos quanto a efeitos de quebra de cromossomo (HEDDLE, 1973; SCHMID, 1975). Porém, esse ensaio é um dos mais sucedidos e confiáveis para carcinógenos de origem genotóxica, podendo rastrear danos citogenéticos derivados de fragmentos ou cromossomos inteiros durante o processo da mitose (SCOTT et al., 1967).

O teste de MN detecta danos genotóxicos nas células interfásicas, resultantes de danos aneugênicos (cromossomo inteiro) e clastogênico (quebra do cromossomo) (BONASSI et al., 2007; SAMANTA et al., 2012; DOHERTY et al., 2016). O teste está relacionado a fragmentos lançados do núcleo principal nos estágios finais da anáfase, como pode ser visto na Figura 1 (KIRSCH-VOLDERS et al., 2003). Com isso, esse teste vem sendo utilizado em estudos de genotoxicidade (NORPPA et al., 2003; ŠUTIÁKOVÁ et al., 2014).



**Figura 1:** Formação do micronúcleo

**Fonte:** DOHERTY e col. 2016

Por ser um teste confiável, vários pesquisadores vem utilizando biomarcador para biomonitoramento de genotoxicidade em animais e humanos, em ambientes aquáticos e terrestres para testes de medicamentos (FDA, 2008; ANVISA, 2013; RIM et al., 2015; MAISANABA et al., 2015; LUE et al., 2015; ARALDI et al., 2015; KIRAZ et al., 2016; LI et al., 2017; CERVENA et al., 2017).

Apesar de muitos organismos serem utilizados como bioindicadores para avaliar sistemas aquáticos (VALENTE-NETO et al., 2016; PARMAR et al., 2016),

peixes e macroinvertebrados são os mais utilizados para biomonitoramento (JOHNSON et al., 2014; HERMAN et al., 2015).

Os peixes tem um papel importante nos estudos da toxicologia aquática, atuando como elementos de monitorização de distúrbios ambientais (COLIN et al., 2016; LIMA et al., 2017). Assim vários pesquisadores utilizam peixes como bioindicadores de ambientes contaminados, utilizando o teste de micronúcleo como biomarcador (GUTIÉRREZ et al., 2015; ALIMBA et al., 2016; VLASTOS et al., 2016).

*Cichla melaniae* (tucunaré), (Figura 2) uma das espécies de peixes que são encontradas no rio Xingu (KULLANDER et al., 2006). Os tucunarés são carnívoros/piscívoros e caçadores diurnos (JEPSEN et al., 1997), estando entre as espécies mais utilizadas na pesca para consumo e esportiva, tendo uma grande importância regional (CAMARGO et al., 2011; SOUZA et al., 2019).



**Figura 2:** *Cichla melaniae* espécie de estudo. **Fonte:** Hildegard Holanda (arquivo pessoal)

A bioacumulação de metais em peixes de água doce e marinhos são bem conhecidos e estudos de metais pesados em peixes são importantes para avaliar a

poluição da água e seu potencial risco pelo consumo de peixes contaminados para a saúde humana (URAL et al., 2012; ALI & KHAN, 2018).

Os animais expostos a esse tipo de contaminantes em ambientes aquáticos podem receber a contaminação por vários fatores como através da água pelas brânquias e através da ingestão de outros organismos contaminados (GALL *et al.*, 2015). Geralmente peixes carnívoros têm concentrações mais altas de agentes xenobióticos em seu corpo porque estão no topo da cadeia alimentar, podendo causar danos maiores no material genético (AHMED et al., 2015; ALI et al., 2018).

Com a preocupação dos impactos ocasionados pela UHEBM, a avaliação da qualidade da água deve ser baseada não só pelas características físico-químicas do ambiente, mas também em observância da fisiologia e do comportamento dos organismos que aí vivem (KUKLINA et al., 2013). A diminuição da biodiversidade de rios impactados necessita de um aperfeiçoamento de instrumentos disponíveis para o biomonitoramento e respostas mais eficazes para adotar decisões ambientais (LIMA, 2017).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar a exposição do peixe tucunaré (*Cichla melaniae*) a contaminantes aquáticos em diferentes trechos do rio Xingu que sofrem a influência da UHEBM.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar a genotoxicidade nos peixes coletados.
  
- Verificar se existe diferença entre MN e anomalias nucleares entre os pontos de coleta.

-Identificar e quantificar as anomalias nucleares.

### 3. MATERIAL E METODOS

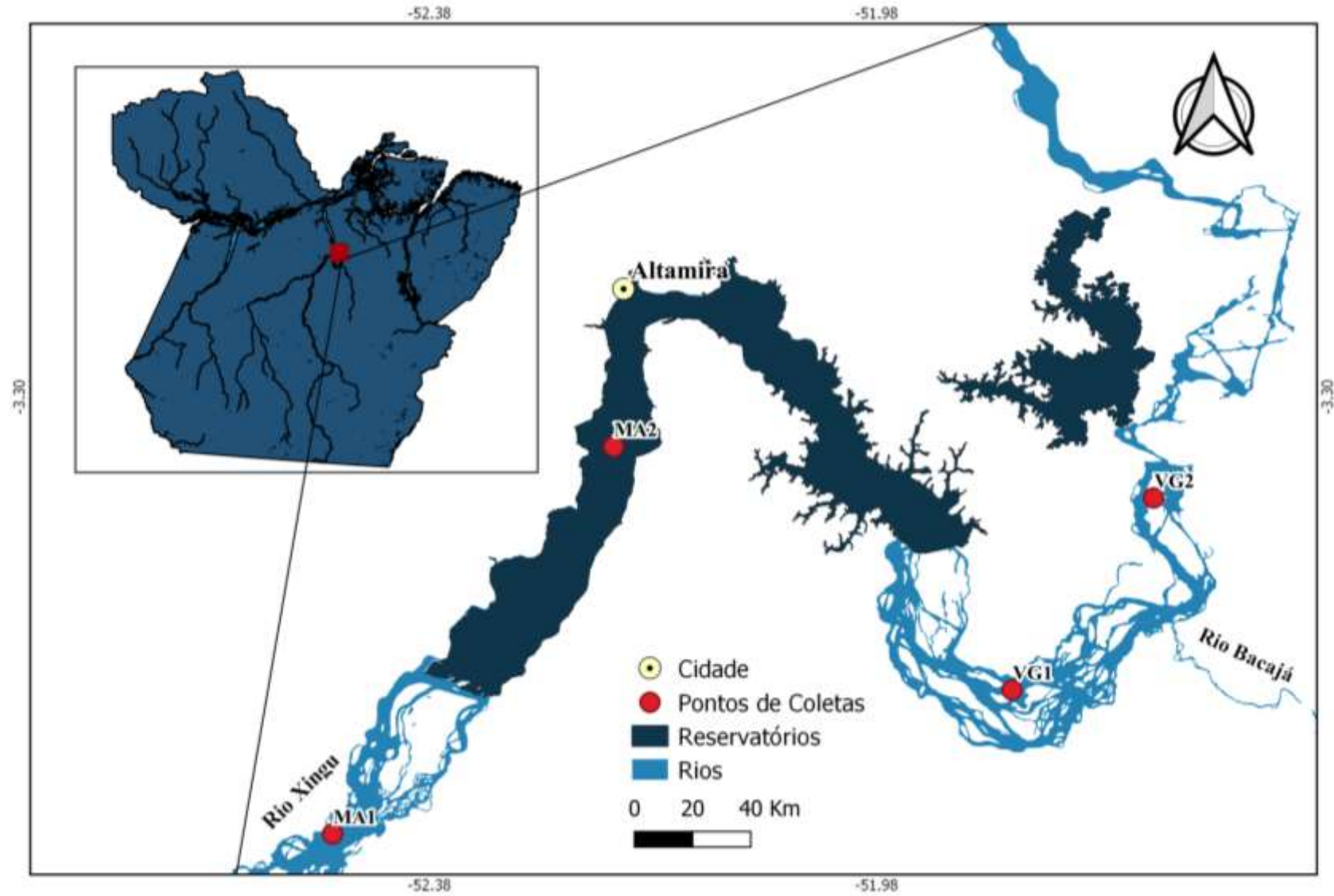
#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O Xingu é caracterizado por ser de águas claras e transparentes que drenam uma bacia hidrográfica de 509,685 km<sup>2</sup> com distintas condições, como áreas de remanso e cachoeiras ao longo do seu percurso (RODRIGUES-FILHO et al., 2015; GIARRIZZO et al., 2015), com pH entre 6,0 e 7,0 e baixa concentração iônica (SIOLI, 1975).

A área de estudo está localizada no médio Xingu que se estende por 203 km, desde o seu encontro com o rio Iriri até as cachoeiras de Belo Monte. As coletas dos peixes foram realizadas em março de 2019, período que caracteriza época da cheia amazônica. Os pontos de coleta estão caracterizados na Tabela 1 e podem ser visualizados na Figura 3.

**Tabela 2:** Pontos de amostragem no rio Xingu.

Pontos de coleta	Localização
<b>MA1</b> (montante de Altamira 1): Cachoeira do Espelho ou região do Porcão (rio Xingu fora da área de influência da UHE)	3,690751 S; 52,466800 W
<b>MA2</b> (montante de Altamira 2): Gorgulho da Rita (acima de Altamira; já faz parte do reservatório Xingu)	3,344449 S; 52,215370 W
<b>VG1</b> (Volta Grande 1): Volta Grande do rio Xingu, a montante da confluência com o rio Bacajá.	3,561977 S; 51,858883 W
<b>VG2</b> (Volta Grande 2): Volta Grande do rio Xingu, a jusante da confluência com o rio Bacajá.	3,390306 S; 51,732267 W



**Figura 3:** Mapa dos locais de coleta no rio Xingu.

**Fonte:** Hildegard Silva, 2019.

Este trabalho foi realizado sob a autorização SISBIO de número 71763-1.

### 3.2 PARÂMETROS FÍSICOS QUÍMICOS

Em cada ponto de coleta foram obtidos os seguintes parâmetros: temperatura, pH, oxigênio dissolvido e condutividade. Todos foram obtidos através de uma sonda de multiparâmetros HANNA®.

### 3.3 COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS

Os peixes foram capturados com o auxílio de um anzol e vara de pescar. Depois de capturados, os peixes foram medidos, pesados e submetidos a doses de óleo de cravo (eugenol) para que pudessem ficar anestesiados e posteriormente ser retirado o sangue do animal.

O sangue periférico de cada espécime foi retirado através da punção da veia caudal com uma seringa heparinizada. O esfregaço sanguíneo foi feito em uma lâmina higienizada (Figura 4 e 5), as mesmas foram secas a temperatura ambiente, após um período de 24 horas foram fixadas em metanol 100% por 30 minutos. Para poder fazer as análises das lâminas, as mesmas foram coradas com Giemsa a 5% e tampão fosfato com pH de 6,8 por 10 minutos, lavadas com água corrente e secas em posição vertical (HEDDLE, 1973; SCHIMID, 1975).



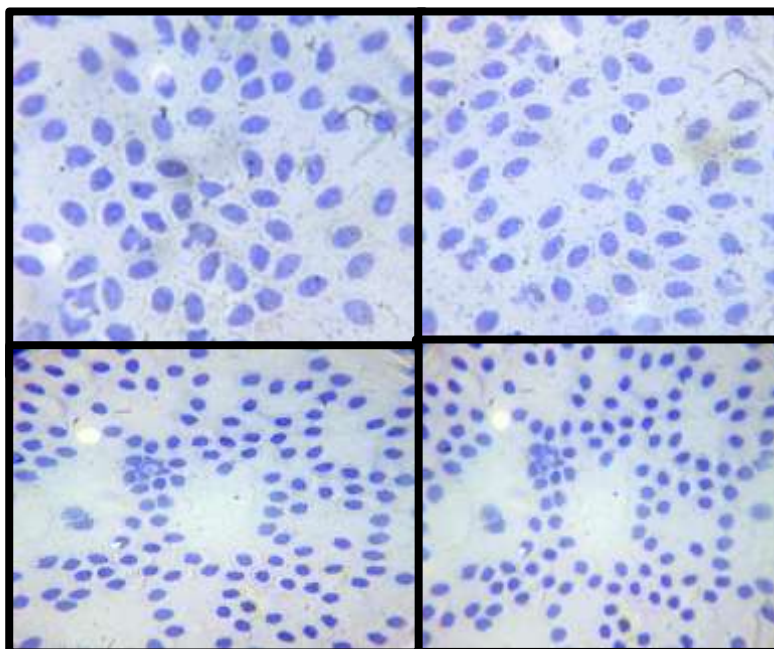
**Figura 4:** Preparação das lâminas para o esfregaço.



**Figura 5:** Esfregaço sanguíneo.

### 3.4 ANÁLISE DE DADOS

Foram observadas mil células por peixe, em um aumento de 1000x (Figura 6), calculando a porcentagem dessas que apresentam núcleo heteromórfico. As diferentes frequências de anomalias nucleares como micronúcleo, invaginação, evaginação, vacúolo e broto nuclear (CARRASCO et al., 1990) foram observadas e analisadas nos animais dos quatro pontos de coleta, sendo que o ponto MA1 é considerado o ponto referência.



**Figura 6:** Eritrócitos de *Cichla melaniae* corados com Giemsa.

### 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Antes de realizar as análises foram testados os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variância dos dados através do teste de Shapiro-Wilk e teste de Levene, respectivamente. Para os dados que apresentaram normalidade e homogeneidade foi realizado a ANOVA (Análise de Variância) e os que não apresentaram os pressupostos mencionados foi realizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. Todas as análises foram executadas no software estatístico R (versão 3.6.1). Ainda para as anomalias foi realizado uma PCA no programa Estatística e uma Permanova para verificar se os dados eram significativos ou não.

## 4 RESULTADOS

Os parâmetros físico-químicos foram medidos em todos os quatro pontos, sendo possível observar que o ponto MA2 teve os maiores valores de oxigênio dissolvido (OD) e pH; a maior variação de condutividade elétrica foi observada no ponto VG1, e o ponto VG2 teve o maior valor de temperatura e turbidez, como pode ser visto na Tabela 2.

**Tabela 3:** Parâmetros físico-químicos nos pontos de amostragem no Xingu.

Pontos	OD (mg/L)	pH	Cond.( $\mu$ S/cm)	Temp. ( $^{\circ}$ C)	Turb.(NTU)
MA1	7,6	6,8	23	27,5	8,14
MA2	8,1	6,9	21	27,9	16,0
VG1	6,0	6,6	28	28,0	10,1
VG2	SM	6,7	26	28,8	11,2

SM: Sem Medição. OD: Oxigênio Dissolvido. pH: Potencial Hidrogeniônico. Cond: Condutividade Elétrica. Temp: Temperatura. Turb: Turbidez.

Os números dos animais coletados bem como sua frequência de MN podem ser observados na Tabela 3.

**Tabela 4:** Número de peixes e MN em cada local de coleta.

LOCAL DE COLETA	QUANTIDADE DE PEIXES	QUANTIDADE DE MN
MA1	12	58
MA2	7	40
VG1	10	26
VG2	8	33

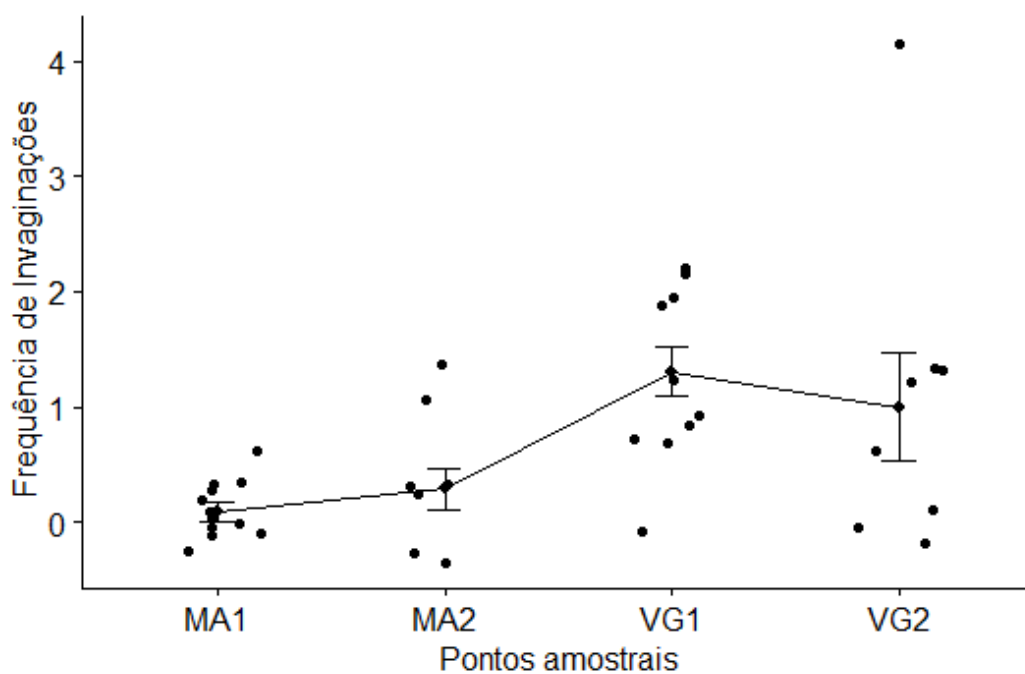
A comparação da frequência de MN entre os pontos coleta foi feita através da Análise de Variância, mostrou que não existe diferença estatística entre eles ( $F_{(3,33)} = 1,16$ ,  $p = 0,20$ ).

Em relação as anomalias celulares foi feito uma comparação da frequência entre elas e os pontos amostrais por meio do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ). O ponto VG1 apresentou maiores frequências de invaginações, diferindo estatisticamente dos pontos MA1 e MA2 ( $p = 0,0006$ ), como mostrado na Figura 7. As demais anomalias quando feito a comparação entre os pontos, não houve diferença significativa (evaginação  $p = 0,38$ ; vacúolo  $p = 0,10$ ; broto nuclear  $p = 0,76$ ). Em relação a PCA feito com as anomalias não houve nenhum padrão entre os pontos (Figura 8). A análise através da Permanova não mostrou diferença significativa ( $F_{(3,31)} = 1,687$ ;  $p = 0,111$ ).

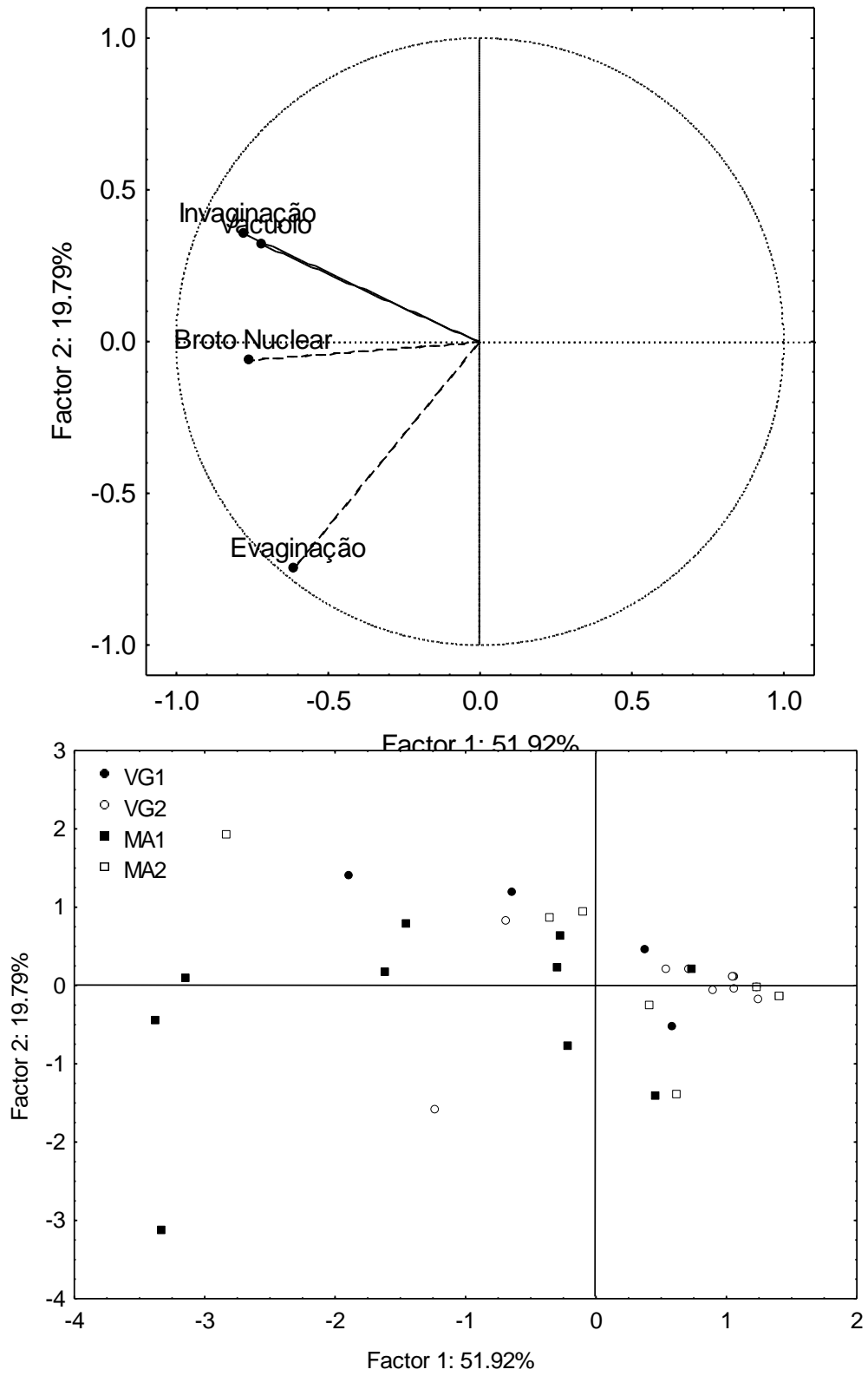
A quantidade de anomalias nucleares encontradas em cada ponto de coleta, podem ser vistas na tabela 4.

**Tabela 5:** Quantidade total de anomalias nucleares encontradas em cada ponto de coleta.

LOCAL DE COLETA	INVAGINAÇÃO	EVAGINAÇÃO	VACÚOLO	BROTO NUCLEAR
MA1	1	0	1	6
MA2	2	1	4	1
VG1	13	0	7	2
VG2	8	1	0	3

**Figura 7:** Comparação de invaginações nucleares entre os pontos amostrados no rio Xingu.

a)



b)

**Figura 8:** Análise de componentes principais PCA realizada com os dados das anomalias celulares dos eritrócitos de *Cichla melaniae* do rio Xingu. A) Correlação entre as variáveis, frequência de ocorrência de anomalias celulares com o primeiro e o segundo eixo da PCA. B) Posição das unidades amostrais, categorizadas por local de coleta do espaço multidimensional.

## 5 Discussão

Desde o início da presença do homem na Amazônia, ele vem modificando-a conforme suas necessidades, como mostrado por Levis et al. (2017). No entanto, essas modificações vêm tomando grandes proporções nas últimas décadas.

O rio Xingu sofre diferentes tipos de impactos como a influência de garimpo de ouro, cultivo de lavoura e desmatamento (VAZ-SILVA et al., 2015) e, principalmente, o maior impacto até o momento, que é a construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte (UHEBM).

Coletas realizadas em 2015 por Figueiredo (2017) observou que em 2015 o valor de oxigênio dissolvido (OD) estava em 3,77 mg/L. O valor observado nesse trabalho foi de 8,1 mg/L mostrando um aumento nos últimos anos. Segundo Piedras et al (2006), o lançamento de agentes xenobióticos através de esgotos não tratados em lagos e reservatórios podem diminuir os níveis de OD na água. Na cidade de Altamira, a estação de tratamento de água só começou a funcionar a partir do ano de 2018, sendo um possível motivo para o aumento de OD na água.

Por outro lado, Lin et al. (2016) e Costa et al. (2017), mostraram que a pluviosidade pode aumentar gradativamente os níveis de OD na água. Em março de 2016 a cidade de Altamira teve uma porcentagem de 40 mm de chuva mensal, sendo que no mesmo mês de 2019 teve um aumento de mais de 80 mm nos índices

pluviométricos, sugerindo que o possível aumento de OD em relação aos outros anos foi devido ao aumento das chuvas na região nesse período.

Outro fator que pode ter influenciado no aumento de OD na água foi o processo de autodepuração, por ser um processo natural que se dá quando cargas poluidoras de origem orgânica são lançadas em um corpo d'água elas são neutralizadas. E que pode ser decorrente de vários fatores físicos da natureza como diluição e sedimentação, e fatores químicos e biológicos como oxidação e decomposição (HYNES, 1960; SPERLING, 1996).

Vários estudos que avaliam a qualidade da água dos reservatórios de hidrelétricas através da genotoxicidade em peixes mostram como esses ambientes artificiais impactam a fauna (JAVED et al., 2016; ITURBURU et al., 2017; TENGJAROENKUL et al., 2017; DE MORAIS CALADO et al., 2018).

Apesar das mudanças que o rio Xingu vem passando, a espécie de peixe estudada não apresentou diferença significativa de MN nos pontos de coleta. Ferraro et al (2004), também não observou diferença significativa de MN em *Hoplias malabaricus* (traíra), submetida a contaminantes xenobióticos, orgânicos e inorgânicos que são normalmente encontrados em corpos aquáticos contaminados, mostrou que não houve diferença significativa no teste de MN entre os peixes controle e expostos aos contaminantes. Nesse mesmo estudo, esses autores trabalharam com outros peixes em que encontraram MN em níveis significativos. Possivelmente *Cichla melaniae* seja uma espécie resistente a xenobióticos como *Hoplias malabaricus* e o biomarcador MN não seja tão efetivo para essa espécie.

Gutiérrez e colaboradores (2015) estudaram várias espécies de peixes de três subestuários no Uruguai e observaram que uma espécie de hábito generalista,

*Paralichthys orbignyanus* (linguado), também não apresentaram taxas significativas de MN.

Quando analisamos as Invaginações nucleares, os resultados do ponto VG1 apresentaram diferença estatística em relação aos outros pontos. Esse ponto se localiza em uma região historicamente impactada da Volta Grande do Xingu, em que se localiza a Ilha da Fazenda, Ilha da Ressaca, algumas terras indígenas e povos ribeirinhos, que chegaram na abertura da rodovia Transamazônica (década de 70), intensificando a busca por ouro na região (CHAVES, 2018).

Em estudo realizado por Matsumoto et al. (2006), em que analisaram os eritrócitos da espécie *Oreochromis niloticus*, os resultados mostraram uma frequência maior de anomalias nucleares (2,53%) em comparação com as de MN (0,45%). No mesmo trabalho mostrou que a jusante do local de coleta a frequência de anomalias ainda eram maiores (2,12%) em comparação com as de MN (0,26%).

Apesar do teste de MN não ter dados significativos, não significa que os peixes do rio Xingu não estão sendo impactados pela UHEBM. *Cichla melaniae* é uma espécie nativa que ainda não apresenta estudos sobre genotoxicidade e pode ser que essa espécie se apresente como muito resistente para ser um bioindicador.

Outras espécies devem ser estudadas nesses ambientes e um biomonitoramento deve ser feito, já que as últimas turbinas serão ligadas em dezembro de 2019, podendo deixar o ambiente ainda mais prejudicado.

## **6 Conclusão**

É necessário o estudo de várias espécies diferentes, pois a Amazônia vem sendo impactada constantemente com várias obras e os animais observados, podendo servir como bons biomarcadores de genotoxicidade.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, Md Kawser et al. Human health risk assessment of heavy metals in tropical fish and shellfish collected from the river Buriganga, Bangladesh. **Environmental science and pollution research**, v. 22, n. 20, p. 15880-15890, 2015.

ALI, Hazrat; EZZAT Khan. "Bioaccumulation of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in freshwater fish. Risk to human health." *Environmental chemistry letters* 16.3. 903-917. 2018.

ALIMBA, Chibuisi G.; BAKARE, Adekunle A. In vivo micronucleus test in the assessment of cytogenotoxicity of landfill leachates in three animal models from various ecological habitats. **Ecotoxicology**, v. 25, n. 2, p. 310-319, 2016.

ALQUERES, J. L.; PRACA, J. C. The Brazilian power system and the challenge of the Amazon transmission. In: Proceedings of the 1991 IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference. IEEE. p. 315-320, 1991.

ANVISA, Brasília. Guia para a condução de estudos não clínicos de toxicologia e segurança farmacológica necessários ao desenvolvimento de medicamentos. **Anvisa, Brasília. ALP, H**, p. 970-975, 2013.

ARALDI, Rodrigo Pinheiro et al. Using the comet and micronucleus assays for genotoxicity studies: a review. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 72, p. 74-82, 2015.

BEALE, Geoffrey. The discovery of mustard gas mutagenesis by Auerbach and Robson in 1941. **Genetics**, v. 134, n. 2, p. 393, 1993.

BERCHIN, I. I. et al. Energy production and sustainability: A study of Belo Monte hydroelectric power plant. In: **Natural Resources Forum**. p. 224-237, 2015.

BONASSI, Stefano et al. An increased micronucleus frequency in peripheral blood lymphocytes predicts the risk of cancer in humans. **Carcinogenesis**, v. 28, n. 3, p. 625-631, 2007.

CAMARGO, M.; CARVALHO JÚNIOR, J.; ESTUPIÑAN, R. A. Peixes comerciais da correção aquática Xingu-Tapajós. **CETEM/MCT**, 2011.

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 of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 47, n. 11, p. 2123-2136, 1990.

CASTELLO, L. et al. The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. *Conservation Letters*, v. 6, n. 4, p. 217-229, 2013.

ÇEVIK, F. et al. An assessment of metal pollution in surface sediments of Seyhan dam by using enrichment factor, geoaccumulation index and statistical analyses. *Environmental monitoring and assessment*, v. 152, n. 1-4, p. 309, 2009.

- CHEN, X. et al. Effects of hydrological regulation and anthropogenic pollutants on Dongting Lake in the Yangtze floodplain. *Ecohydrology*, v. 9, n. 2, p. 315-325, 2016.
- CERVENA, Tereza et al. DNA damage potential of engine emissions measured in vitro by micronucleus test in human bronchial epithelial cells. **Basic & clinical pharmacology & toxicology**, v. 121, p. 102-108, 2017.
- CHAVES, K.A. “*Agora o rio vive seco - Populações tradicionais, exceção e espoliação em face da instalação de grandes projetos na Volta Grande do Xingu*”. Dissertação de Mestrado. Rio Claro, Unesp, 2018.
- COE, Michael T. et al. Deforestation and climate feedbacks threaten the ecological integrity of south–southeastern Amazonia. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 368, n. 1619, p. 20120155, 2013.
- COLLEN, Ben et al. Global patterns of freshwater species diversity, threat and endemism. **Global ecology and Biogeography**, v. 23, n. 1, p. 40-51, 2014.
- COSTA, Cibele Rodrigues et al. Interannual water quality changes at the head of a tropical estuary. **Environmental monitoring and assessment**, v. 189, n. 12, p. 628, 2017.
- CUNHA DA. Análise da paisagem e estrutura das comunidades vegetais das formações pioneiras do Baixo Xingu, Pará. Dissertação de mestrado, Museu Paraense Emílio Goeldi / Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém. 2009.
- DE JESUS, Isac Silva et al. Genotoxicity effects in freshwater fish from a Brazilian impacted river. **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, v. 96, n. 4, p. 490-495, 2016.
- DE LIMA ANDRADE, A.; DOS SANTOS, M. A. Hydroelectric plants environmental viability: Strategic environmental assessment application in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 52, p. 1413-1423, 2015.
- DE MORAIS CALADO, Sabrina Loise et al. Depuration time and sublethal effects of microcystins in a freshwater fish from water supply reservoir. **Chemosphere**, v. 210, p. 805-815, 2018.
- DUGAN, P. et al. Blue harvest: inland fisheries as an ecosystem service. **The WorldFish Center Working Papers**, 2010.
- DOHERTY, Ann; BRYCE, Steven M.; BEMIS, Jeffrey C. The in vitro micronucleus assay. In: **Genetic Toxicology Testing**. Academic Press. p. 161-205. 2016.
- FDA, U. S. Guidance for Industry: Genotoxic and Carcinogenic Impurities in Drug Substances and Products: Recommended Approaches. **Draft, December**, 2008.
- FEARNSIDE, Philip M. Belo Monte Dam: A spearhead for Brazil’s dam building attack on Amazonia. In: **Global Water Forum**. 2012.
- FERRARO, Marcos Vinícius M. et al. Mutagenic effects of tributyltin and inorganic lead (Pb II) on the fish *H. malabaricus* as evaluated using the comet assay and the

- piscine micronucleus and chromosome aberration tests. **Genetics and Molecular Biology**, v. 27, n. 1, p. 103-107, 2004.
- FIGUEIREDO, Agna Letícia Botelho. Variação temporal do carbono orgânico dissolvido no rio Xingu durante a construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pará, Altamira, 2017.
- FUGÈRE, Vincent et al. Impacts of forest loss on inland waters: Identifying critical research zones based on deforestation rates, aquatic ecosystem services, and past research effort. **Biological Conservation**, v. 201, p. 277-283, 2016.
- GALL, J.E., Boyd, R.S. and Rajakaruna, N. Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: a review. *Environmental monitoring and assessment*, 187(4), p.201. 2015.
- GEISSEN, Violette et al. Emerging pollutants in the environment: a challenge for water resource management. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 3, n. 1, p. 57-65, 2015.
- GIARRIZZO, T. et al. Length–weight and length–length relationships for 135 fish species from the Xingu River (Amazon Basin, Brazil). **Journal of Applied Ichthyology**, v. 31, n. 2, p. 415-424, 2015.
- GHREFAT, H.; YUSUF, N.. Assessing Mn, Fe, Cu, Zn, and Cd pollution in bottom sediments of Wadi Al-Arab Dam, Jordan. *Chemosphere*, v. 65, n. 11, p. 2114-2121, 2006.
- GUTIÉRREZ, Juan Manuel; VILLAR, Silvia; PLAVAN, Alicia Acuña. Micronucleus test in fishes as indicators of environmental quality in subestuaries of the Río de la Plata (Uruguay). **Marine pollution bulletin**, v. 91, n. 2, p. 518-523, 2015.
- GUSSO-CHOUERI, P. K. et al. Assessing genotoxic effects in fish from a marine protected area influenced by former mining activities and other stressors. *Marine pollution bulletin*, v. 104, n. 1-2, p. 229-239, 2016.
- HERING, Daniel et al. Managing aquatic ecosystems and water resources under multiple stress—An introduction to the MARS project. **Science of the total environment**, v. 503, p. 10-21, 2015.
- HEDDLE, J. A. A rapid in vivo test for chromosomal damage. *Mutation Research*, 18(2), 187–190, 1973.
- HERMAN, Matthew R.; NEJADHASHEMI, Amir Pouyan. A review of macroinvertebrate-and fish-based stream health indices. **Ecohydrology & Hydrobiology**, v. 15, n. 2, p. 53-67, 2015.
- Hynes, H.B.N. *The Ecology of Running Waters*. University of Toronto Press. 1960.
- ITURBURU, Fernando G. et al. Uptake, distribution in different tissues, and genotoxicity of imidacloprid in the freshwater fish *Australoheros facetus*. **Environmental toxicology and chemistry**, v. 36, n. 3, p. 699-708, 2017.

JACKSON, T. A. Historical variations in the stable isotope composition of mercury in a sediment core from a riverine lake: effects of dams, pulp and paper mill wastes, and mercury from a chlor-alkali plant. *Applied geochemistry*, v. 71, p. 86-98, 2016.

JAVED, Mehjbeen et al. Bioaccumulation, oxidative stress and genotoxicity in fish (*Channa punctatus*) exposed to a thermal power plant effluent. ***Ecotoxicology and environmental safety***, v. 127, p. 163-169, 2016.

JEPSEN, D. B.; WINEMILLER, K. O.; TAPHORN, D. C. Temporal patterns of resource partitioning among *Cichla* species in a Venezuelan blackwater river. *Journal of fish biology*, v. 51, n. 6, p. 1085-1108, 1997.

JOHNSON, S. L.; RINGLER, N. H. The response of fish and macroinvertebrate assemblages to multiple stressors: A comparative analysis of aquatic communities in a perturbed watershed (Onondaga Lake, NY). ***Ecological Indicators***, v. 41, p. 198-208, 2014.

KIRAZ, Aslihan et al. Micronucleus testing as a cancer detector: endometrial hyperplasia to carcinoma. ***Archives of gynecology and obstetrics***, v. 293, n. 5, p. 1065-1071, 2016.

KIRSCH-VOLDERS, Micheline et al. Report from the in vitro micronucleus assay working group. ***Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis***, v. 540, n. 2, p. 153-163, 2003.

KUKLINA, I.; KOUBA, A.; KOZÁK, P. Real-time monitoring of water quality using fish and crayfish as bio-indicators: a review. ***Environmental monitoring and assessment***, v. 185, n. 6, p. 5043-5053, 2013.

KULLANDER, S. O.; FERREIRA, E. JG. A review of the South American cichlid genus *Cichla*, with descriptions of nine new species (Teleostei: Cichlidae). *Ichthyological Exploration of Freshwaters*, v. 17, n. 4, p. 289-398, 2006.

LAL, 2007 R. ***LalInfluências antropogênicas nos solos do mundo e implicações para a segurança alimentar global*** LS Donald (Ed.) , *Avanços em Agronomia* , Academic Press , Waltham, MA, pp. 69 – 93, 2007.

LAURANCE, William F. et al. The future of the Brazilian Amazon. ***Science***, v. 291, n. 5503, p. 438-439, 2001.

LI, Chunmei et al. Genotoxicity testing of sodium formononetin-3'-sulphonate (Sul-F) by assessing bacterial reverse mutation, chromosomal aberrations and micronucleus tests. ***Regulatory Toxicology and Pharmacology***, v. 86, p. 374-378, 2017.

LIMA, Ana Carolina; WRONA, Frederick J.; SOARES, Amadeu MVM. Fish traits as an alternative tool for the assessment of impacted rivers. ***Reviews in fish biology and fisheries***, v. 27, n. 1, p. 31-42, 2017.

LIN, Jui-Yen et al. Precipitation recovery of boron from aqueous solution by chemical oxo-precipitation at room temperature. ***Applied energy***, v. 164, p. 1052-1058, 2016.

LUE, Stanley W. et al. Development of a high-throughput and miniaturized cytokinesis-block micronucleus assay for use as a biological dosimetry population triage tool. **Radiation research**, v. 184, n. 2, p. 134-142, 2015.

MAISANABA, Sara et al. In vitro genotoxicity testing of carvacrol and thymol using the micronucleus and mouse lymphoma assays. **Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v. 784, p. 37-44, 2015.

MALLING, Heinrich V. History of the science of mutagenesis from a personal perspective. **Environmental and molecular mutagenesis**, v. 44, n. 5, p. 372-386, 2004.

MATSUMOTO, Silvia Tamie et al. Genotoxicity and mutagenicity of water contaminated with tannery effluents, as evaluated by the micronucleus test and comet assay using the fish *Oreochromis niloticus* and chromosome aberrations in onion root-tips. **Genetics and Molecular Biology**, v. 29, n. 1, p. 148-158, 2006.

MIRANDA EE, Miranda JR, Santos EPF. Efeitos ecológicos das barragens do Xingu: uma avaliação preliminar. Em *As hidrelétricas do Xingu e os povos indígenas* (LA Santos, LM Andrade, eds.). Comissão Pró-Índio, São Paulo, p.83-102. 1988.

MORLEY, N. J. Anthropogenic effects of reservoir construction on the parasite fauna of aquatic wildlife. **EcoHealth**, v. 4, n. 4, p. 374-383, 2007.

MULLER, Hermann J. The production of mutations by X-rays. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 14, n. 9, p. 714, 1928.

NIPPER, M. G. et al. Sediment toxicity and benthic communities in mildly contaminated mudflats. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 17, n. 3, p. 502-510, 1998.

NORPPA, Hannu; FALCK, Ghita C.-M. What do human micronuclei contain?. **Mutagenesis**, v. 18, n. 3, p. 221-233, 2003.

NUNES-GUTJAHR, Ana Lucia; BRAGA, Carlos Elias de Souza. Faunistic analysis of grasshoppers Acridoidea in the Volta Grande of the Xingu River, area of direct influence of the Belo Monte Hydroelectric Power Station, Pará, Brazil. **Ciência Rural**, v. 45, n. 7, p. 1220-1227, 2015.

OSMAN, A. et al. Genotoxicity of two pathogenic strains of zoosporic fungi (*Achlya klebsiana* and *Aphanomyces laevis*) on erythrocytes of Nile tilapia *Oreochromis niloticus niloticus*. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 73, n. 1, p. 24-31, 2010.

PARMAR, Trishala K.; RAWTANI, Deepak; AGRAWAL, Y. K. Bioindicators: the natural indicator of environmental pollution. **Frontiers in life science**, v. 9, n. 2, p. 110-118, 2016.

PETERSON, E. K.; SCHULTE, B. A. Impacts of pollutants on beavers and otters with implications for ecosystem ramifications. **Journal of Contemporary Water Research & Education**, v. 157, n. 1, p. 33-45, 2016.

- PIEDRAS, Sérgio Renato Noguez et al. Macroinvertebrados bentônicos como indicadores de qualidade de água na Barragem Santa Bárbara, Pelotas, RS, Brasil. **Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p. 494-500, 2006.
- RIM, Kyung-Taek; KIM, Soo-Jin. A review on mutagenicity testing for hazard classification of chemicals at work: focusing on in vivo micronucleus test for allyl chloride. **Safety and health at work**, v. 6, n. 3, p. 184-191, 2015.
- RODRIGUES-FILHO, J. L. et al. Spatial patterns of water quality in Xingu River Basin (Amazonia) prior to the Belo Monte dam impoundment. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 3, p. 34-46, 2015.
- ROSCOCHE, Luiz Fernando; VALLERIUS, Daniel Mallmann. Os Impactos Da Usina Hidrelétrica De Belo Monte Nos Atrativos Turísticos Da Região Do Xingu (Amazônia-Pará-Brasil). *Revista Eletrônica de Administração e Turismo-ReAT*, v. 5, n. 3, p. 414-415, 2014.
- SAMANTA, Swapan; DEY, Pranab. Micronucleus and its applications. **Diagnostic cytopathology**, v. 40, n. 1, p. 84-90, 2012.
- SCHMID, W. The micronucleus test. *Mutation Research*, 31(1), 9–15, 1975.
- SCOTT, D.; EVANS, H. J. X-ray-induced chromosomal aberrations in *Vicia faba*: changes in response during the cell cycle. **Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis**, v. 4, n. 5, p. 579-599, 1967.
- SIOLI, H. Rio tropical: a Amazônia. Em WHITON, BA. (Ed.). *Ecologia do rio. estudos em ecologia*. Oxford: Blackwell Scientific Publications. vol. 2, p. 461-486. 1975.
- SOARES-FILHO, Britaldo Silveira et al. Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v. 440, n. 7083, p. 520, 2006.
- Sperling, V. M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. 1996.
- SUSKI, Cory D.; COOKE, Steven J. Conservation of aquatic resources through the use of freshwater protected areas: opportunities and challenges. **Biodiversity and Conservation**, v. 16, n. 7, p. 2015-2029, 2007.
- ŠUTIÁKOVÁ, Irena; KOVALKOVIČOVÁ, Natália; ŠUTIÁK, Václav. Micronucleus assay in bovine lymphocytes after exposure to bisphenol A in vitro. **In Vitro Cellular & Developmental Biology-Animal**, v. 50, n. 6, p. 502-506, 2014.
- TENGJAROENKUL, Bundit et al. Chromosomal aberration assessment of silver rasbora fish (*Rasbora tornieri*) living near gold mine area with heavy metal contamination. **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**, v. 23, n. 5, p. 1140-1152, 2017.
- TIMPE, Kelsie; KAPLAN, David. The changing hydrology of a dammed Amazon. **Science advances**, v. 3, n. 11, p. e1700611, 2017.

UN WWAP UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World. 2015.

URAL, Mesut, Selami Arca, Gürel Nedim Örnekçi, Ferhat Demiroğlu, Songül Yüce, Kazim Uysal, Arzu Çiçek, Esengül Köse, and Mehmet Ali Turan Koçer. "Metal accumulation in sediment, water, and freshwater fish in a Dam Lake." *Toxicological & Environmental Chemistry* 94, no. 1. 49-55. 2012.

VALENTE-NETO, Francisco et al. Toward a practical use of Neotropical odonates as bioindicators: Testing congruence across taxonomic resolution and life stages. **Ecological Indicators**, v. 61, p. 952-959, 2016.

VAZ-SILVA, W. et al. Contributions to the knowledge of amphibians and reptiles from Volta Grande do Xingu, northern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 3, p. 205-218, 2015.

VENTICINQUE, Eduardo et al. An explicit GIS-based river basin framework for aquatic ecosystem conservation in the Amazon. **Earth System Science Data**, v. 8, n. 2, p. 651, 2016.

VICARI, Taynah et al. Genotoxic evaluation of different doses of methylmercury (CH<sub>3</sub>Hg<sup>+</sup>) in *Hoplias malabaricus*. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 82, p. 47-55, 2012.

VLASTOS, Dimitris; ANTONOPOULOU, Maria; KONSTANTINOY, Ioannis. Evaluation of toxicity and genotoxicity of 2-chlorophenol on bacteria, fish and human cells. **Science of the Total Environment**, v. 551, p. 649-655, 2016.

WCD The World Commission on Dams. Dams and Development – A new framework for decision-making. The report of the World Commission of Dams Earthscan Publications, 2000.

WINEMILLER, Kirk O. et al. Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. **Science**, v. 351, n. 6269, p. 128-129, 2016.

WOODWARD, C. et al. The hydrological legacy of deforestation on global wetlands. **Science**, v. 346, n. 6211, p. 844-847, 2014.

WONG, K. W. et al. Effects of anthropogenic activities on the heavy metal levels in the clams and sediments in a tropical river. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 24, n. 1, p. 116-134, 2017.

ZHIJING, C. A. O.; ZHANG, X.; NANSHAN, A. I. Effect of sediment on concentration of dissolved phosphorus in the Three Gorges Reservoir. *International Journal of Sediment Research*, v. 26, n. 1, p. 87-95, 2011.

ZUANON et al. CONDIÇÕES PARA A MANUTENÇÃO DA DINÂMICA SAZONAL DE INUNDAÇÃO, A CONSERVAÇÃO DO ECOSISTEMA AQUÁTICO E MANUTENÇÃO DOS MODOS DE VIDA DOS POVOS DA VOLTA

**GRANDE DO XINGU. (Papers do NAEA, que o **manuscrito foi aceito e será publicado no volume 28, número 3, a ser lançado em dezembro de 2019).****

---