



Qualidade e potencial toxicogenético da água da barragem de Piaus (São Julião, Piauí, Brasil)

Quality and toxicogenetic potential of water from the piaus dam (São Julião, Piauí, Brazil)

Calidad y potencial toxicogenético del agua de la presa de Piaus (São Julião, Piauí, Brasil)

Louridânia da Silva e Sousa¹, Shamy Gabriella Corrêa Coêlho², Layza Karyne Farias Mendes¹, Rafaela de Sousa Holanda³, Amanda Duarte Avila³, Joyce Oliveira Lima³, Victor Alves de Oliveira¹, Leomá Albuquerque Matos⁴, Sandra Maria Mendes de Moura Dantas⁴, Leonardo Henrique Guedes de Moraes Lima¹.

RESUMO

Objetivo: Avaliar a citotoxicidade e mutagenicidade das águas da barragem de Piaus, utilizando como sistema teste as células meristemáticas de raiz de *Allium cepa* L. conjuntamente com análises de parâmetros físico-químicos (temperatura, cor, turbidez, sólidos dissolvidos totais e pH) para caracterização da qualidade da água. **Métodos:** Foram analisadas amostras de água com 20 e 80 cm de profundidade de quatro pontos diferentes da barragem, utilizando diferentes tempos de exposição (24, 48 e 72 horas), os pontos de amostragem e coleta de amostras foram selecionados devido ter uma maior relação com a presença humana. **Resultados:** Demonstraram parâmetros físico-químicos fora dos valores permitidos pela legislação nacional na maioria dos pontos analisados caracterizando presença de ação antrópica. Ademais, a avaliação toxicogenética apresentou efeitos citotóxicos e mutagênicos principalmente para os tempos de 48 e 72hs para todos os pontos analisados. **Conclusão:** As amostras de água da barragem de Piaus apresentam, provavelmente, agentes xenobioticos que interferem nos processos de divisão celular levando a efeitos toxicogenéticos.

Palavras-chave: Mutagênese ambiental, Qualidade de água, Agentes xenobióticos, Mutações, Citotoxicidade.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the cytotoxicity and mutagenicity of Piaus barrage waters, using as a test system the meristematic cells of the root of *Allium cepa* L. together with analyzes of physical-chemical parameters (temperature, cor, turbidity, total dissolved solids and pH) to characterization of water quality. **Methods:** Water samples were analyzed with a depth of 20 and 80 cm from four different barrel points, using different Exposure times (24, 48 and 72 hours), the sample points and sample collection were selected for a greater relationship. with a human presence. **Results:** We demonstrate physical-chemical parameters for two values allowed by the national legislation in most of the two points analyzed characterizing the presence of anthropic action. Furthermore, the toxicogenetic evaluation showed cytotoxic and mutagenic effects mainly for the time periods of 48 and 72 hours for all the points analyzed. **Conclusion:** Piaus barrage water samples show, mainly, xenobiotic agents that interfere with cell division processes, leading to toxicogenetic effects.

Keywords: Environmental mutagênese, Water quality, Xenobiotic agents, Mutations, Cytotoxicity.

¹ Universidade Federal do Piauí – Campus Senador Helvídio Nunes de Barros, Picos - PI.

² Universidade Federal do Piauí – Campus Amílcar Ferreira Sobral, Floriano - PI.

³ Centro Universitário São Lucas – Departamento de Medicina, Porto Velho - RO.

⁴ Universidade Federal do Piauí – Campus Ministro Petrônio Portela, Teresina - PI.

RESUMEN

Objetivo: Evaluar a citotoxicidade y mutagenicidad de las aguas da barragem de Piaus, utilizando como sistema teste as células meristemáticas de raiz de *Allium cepa* L. conjuntamente con análisis de parámetros físico-químicos (temperatura, cor, turbidez, sólidos disueltos totales e pH) para caracterização da qualidade da água. **Métodos:** Foram analisadas amostras de água com 20 e 80 cm de profundidade de quatro pontos diferentes da barragem, utilizando diferentes tempos de exposição (24, 48 and 72 horas), os pontos de amostragem e coleta de amostras foram selecionados devido ter uma mayor relación com a presença humana. **Resultados:** Demonstraram parâmetros físico-químicos fora dos valores permitidos pela legislação nacional na maioria dos pontos analisados caracterizando presença de ação antrópica. Además, una evaluación toxicogenética presenta efectos citotóxicos y mutagénicos principalmente para los tiempos de 48 y 72 horas para todos los puntos analizados. **Conclusión:** As amostras de água da barragem de Piaus apresentam, provavelmente, agentes xenobióticos que interfieren en los procesos de división celular levantando a efectos toxicogenéticos.

Palabras clave: Mutagenés ambiental, Calidad de água, Agentes xenobióticos, Mutaciones, Citotoxicidad.

INTRODUÇÃO

A água é um bem mineral fundamental para a fisiologia e manutenção da vida, sendo responsável por todas as funções orgânicas dos seres vivos e pela manutenção dos ecossistemas (WHO, 2018). Além disso, a água ainda apresenta diversas utilidades para o homem como o abastecimento público, a irrigação, a navegação, o uso industrial, a recreação, a agricultura, a pecuária, a função paisagística, o turismo, a geração de eletricidade, dentre outros (CONAMA, 1986).

O Brasil é o país que detem um dos maiores patrimônios hídricos do planeta, uma vez que cerca de 12% da água doce superficial e a maior reserva de água doce do subterrâneo encontra-se em parte do seu território (OLIVEIRA LM, 2011), ocasionando uma responsabilidade quanto a conservação e uso sustentável dos recursos hídricos, além de inquirir investigações a fim de apontar áreas que necessitam de maior preservação. Nos últimos anos, o homem vem aumentando expressivamente o descarte de seus dejetos no solo, na água ou na atmosfera.

Os ecossistemas aquáticos vem sendo alterados de maneira drástica, contaminações por efluentes oriundos de esgotos, lixo urbano e subprodutos de atividades agrícolas são as principais causas dessas contaminações (PEREIRA TS, 2008). O nível de poluição e o mal gerenciamento dos resíduos antrópicos tem causado sérios danos aos recursos hídricos, prejudicando a saúde das plantas, dos animais e da própria população que dependem deste recurso para sobreviver (SOARES LM, 2021). Nesse sentido o biomonitoramento ambiental se faz necessário, apresentando-se como um instrumento de avaliação da qualidade ambiental dentro de uma escala espacial e temporal definidas.

A ecotoxicologia surge como uma ferramenta necessária para avaliar a toxicidade dos recursos hídricos e organismos aquáticos, avaliando os efeitos deletérios das atividades antropogênicas, e buscando medidas necessárias para conter e tratar esses danos, como a utilização de organismos-teste em que é possível a identificação de compostos que afetam os sistemas biológicos, permitindo a avaliação do potencial de risco ambiental para determinados contaminantes (COSTA RMA e MENK CFM, 2008).

Levando em consideração a resposta dos organismos vivos à estresses químicos, a ecotoxicologia utiliza-se de bioensaios toxicogenéticos para avaliação da mutagênese ambiental (SIDDIQUI AH, et al., 2011).

Os testes de toxicidade são experimentos realizados em laboratórios utilizando-se de métodos especificamente controlados e padronizados a fim de avaliar a ação tóxica de determinadas substâncias como efluentes industriais e amostras ambientais. Para a avaliação dos efeitos tóxicos dessas substâncias utiliza-se organismos vivos chamadas de organismos-testes de modo que a exposição a diferentes concentrações de amostra e os efeitos tóxicos produzidos sobre eles são observados e quantificados (COSTA CR, 2008).

Organismos-teste são usados inicialmente em testes toxicológicos de laboratório e para análises de qualidade da água com ênfase para mutagênese ambiental. Em geral, eles são altamente padronizados sendo, com frequência, usados diretamente para detectar riscos imediatos para a população humana. O método consiste em submeter o organismo-teste em diferentes concentrações da substância-teste, e desta maneira, obter a faixa de sensibilidade desse organismo para posterior realização de bioensaios (CETESB, 2008).

Vários bioensaios podem ser empregados para monitorar a saúde ambiental em ecossistemas aquáticos. A ação de poluentes indutores de fragmentação de DNA, inibição da divisão celular, paralisação do ciclo celular em metáfase, aberrações cromossômicas numéricas e estruturais, trocas de cromátides irmãs podem ser detectada citologicamente utilizando testes específicos de mutagênese ambiental (MATSUMOTO ST, 2006).

Dentre os bioensaios disponíveis, o sistema-teste *Allium cepa* L. é avaliado como um instrumento útil em análises do potencial citogenotóxico de águas contaminadas, permitindo analisar parâmetros como índice mitótico, alterações no ciclo celular, aberrações cromossômicas, além de alterações nucleares, como células binucleadas e micronúcleos, além de permitir detectar danos promovidos por agentes clastogênicos e aneugênicos sobre o material genético (AIUB e FELZENSALB, 2011).

A espécie *Allium cepa* tem sido indicada como um eficiente organismo-teste para estudos de citotoxicidade e genotoxicidade, devido às características que possui na sua cinética de proliferação, pelo crescimento rápido de suas raízes, pelo grande número de células em divisão, pela sua alta tolerância a diferentes condições de cultivo, pela sua disponibilidade durante o ano todo, pelo seu fácil manuseio e por possuir cromossomos em número reduzido ($2n=16$) e de grande tamanho (MATSUMOTO ST, 2006).

Desde então, inúmeros trabalhos têm sido realizados com esse organismo-teste a fim de se obter uma resposta confiável e rápida para a avaliação da contaminação ambiental. Esse teste utiliza bulbos de cebola para avaliar a toxicidade por meio de ensaios, em contato com a amostra a ser testada (LEME DM e MARIN-MORALES MA, 2009).

São observados: o crescimento das raízes, o índice mitótico em células meristemáticas (local onde ocorre maior probabilidade de ocorrer alterações) e a presença de alterações cromossômicas ou nucleares em células meristemáticas, a fim de analisar o potencial tóxico, citotóxico e genotóxico das amostras em teste (SOUZA AVC, 2017).

Os vários processos que controlam a qualidade de água de um rio, fazem parte de um complexo equilíbrio, motivo pelo qual qualquer alteração na bacia hidrográfica pode acarretar alterações significativas, sendo as características físicas e químicas da água de um rio, indicadores da “saúde” do ecossistema terrestre, que podem ser utilizadas para o controle e o monitoramento das atividades desenvolvidas em uma bacia hidrográfica (BUENO LF, et al., 2005).

Dentre as variáveis de qualidade da água no aspecto físico-químico destaca-se a temperatura, o pH, a turbidez, a cor e o teor de oxigênio dissolvido, entretanto, a qualidade da água é reflexo do efeito combinado de muitos processos que ocorrem ao longo do curso d'água não se traduzindo apenas pelas suas características físicas e químicas, mas pela qualidade de todo o funcionamento do ecossistema (LIMA EBNR, 2001).

Portanto, qualquer alteração antrópica mediante a fatores químicos e físicos no sistema aquático podem conduzir ao desequilíbrio da fauna e flora dos corpos de água resultando em sérios prejuízos, sendo muitas vezes irreversíveis mediante os níveis encontrados no ambiente aquático.

A barragem de Piaus está localizada no semiárido piauiense no município de São Julião construída pelo departamento Nacional de Obras Contra as Secas, que abastece seis cidades piauiense (São Julião, Vila Nova, Fronteiras, Alagoinha, Campo Grande e Pio IX), que sofrem com a escassez hídrica (AGUIAR RB e GOMES JRC, 2004). A barragem tem capacidade para armazenar 104,5 milhões de metros cúbicos de água e fornece o líquido para uma população estimada de 30 mil habitantes.

Considerando a importância da avaliação de recursos hídricos que vem sofrendo com atividades antropogênicas e visto que, na literatura são poucos os estudos na barragem de Piaus, sobretudo os que avaliam a genotoxicidade, o presente trabalho teve como objetivo principal avaliar a mutagenicidade das águas da barragem de Piaus, amostradas em quatro pontos ao longo de seu curso utilizando o sistema *Allium cepa* como bioindicador toxicogenético de poluição aquática.

MÉTODOS

Pontos de amostragem e coleta de amostras

Para caracterização da qualidade de água e avaliação da mutagênese ambiental da barragem de Piaus foram definidos 04 pontos amostrais distribuídos ao longo da barragem: P1 - local chamado de caldeirãozinho (6° 59' 04.95 "S e 40° 50' 50.92 "O); P2 - local onde à presença de banhistas (6° 59'17.14 "S e 40° 50' 01.44" O); P3 - antes do sangrador (6° 59' 34.21 "S e 40° 50' 08 "O) e P4 - no sangrador (6° 59' 22.37 "S e 40° 50' 18.99 "O) (**Figura 1**). Os pontos foram selecionados devido ter uma maior relação com a presença humana.

Figura 1 - Localização dos pontos avaliados na barragem de Piaus, São Julião, Piauí.



Legenda: Mapa do <https://earth.google.com> (Adaptado). 2022.

Fonte: Sousa LDS, et al., 2024.

A água da barragem de Piaus foi coletada (20 cm e 80cm de profundidade) e acondicionadas em 02 frascos plásticos identificados para cada ponto de coleta e levadas para o Laboratório de Pesquisa 1 da Universidade Federal do Piauí, Campus de Picos-PI no dia 02 de maio de 2022, no período de seca da região. Os frascos plásticos contendo a água coletada para o experimento foram armazenadas em local refrigerado em uma temperatura de -20°C para posterior análises de qualidade de água e estudos de mutagênese ambiental.

Avaliação de parâmetros físico-químicos

No momento da coleta alguns dados físico-químicos foram coletados utilizando um aparelho multimetro específico de medição para temperatura (°C) e profundidade (cm). Além da medição do pH utilizando o aparelho pHmetro Quimis Q400MT. Outros parâmetros foram determinados pelo laboratório da UFPI, Campus de Picos: Condutividade (µS/cm); Sólidos Dissolvidos totais (ppm) e na Agespisa/Picos foram realizados os testes de Turbidez (NTU) e Cor (UHz). Todos os resultados de parâmetros obtidos no estudo foram comparados com resolução CONAMA 357/2005 para um ambiente lótico.

Obtenção de células meristemáticas de raízes de *Allium cepa* para análise citogenética

Para a realização deste trabalho foram adquiridas cebolas de uma fonte comercial e colocadas para enraizar em copo descartável de 50 mL com água destilada, à temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}\text{C}$), aerada, até obtenção de raízes com cerca de 1 a 1,5 cm de comprimento.

Para a análise de cada ponto foi utilizado cinco bulbos, estas foram adicionadas a água da barragem de Piaus no copo descartável sendo identificadas de acordo com cada ponto de coleta. Antes de iniciar o experimento foram coletadas e fixadas algumas raízes de cada bulbo que serviram para o próprio controle (0h) do bulbo, em seguida as raízes foram colocadas nos seus respectivos tratamentos.

As raízes permaneceram 3 dias em contato com a água da barragem de Piaus, sendo que, a cada 24 horas coletava-se raízes dos bulbos de cada ponto de coleta. Os tempos de exposição (24, 48 e 72h) foram escolhidos com o intuito de se avaliar uma possível alteração citotóxica e mutagênica das células em análise.

No frasco de cada bulbo foram colocados 40 ml da barragem de Piaus, ordenadas de acordo com os pontos de coletas, tendo-se o cuidado de verificar se todas as raízes estavam em contato adequado com a solução em estudo. A fixação das raízes se deu em Carnoy 3:1 (etanol: ácido acético), a temperatura ambiente, por 24 horas. Para cada coleta de raiz, retirou-se, em média, três raízes por bulbo.

Preparo e leitura das lâminas e análise dos dados

As lâminas foram feitas seguindo o protocolo proposto por Guerra M e Souza MJ (2002); com algumas modificações. Cada lâmina foi corada com duas gotas de orceína acética a 2% e analisadas em microscópio óptico, em objetiva de 40X. Para cada bulbo analisou-se 1.000 células, totalizando 3.000 células para cada controle e tempo de exposição. Foram observadas células em interfase, prófase, metáfase, anáfase e telófase.

Foi calculado o número de células em interfase e em divisão de cada controle e tempo de exposição e determinado o índice mitótico. Avaliou-se também o potencial mutagênico das amostras de águas dos pontos coletados da barragem de Piaus por meio do número de células em metáfases colchícinicas, pontes anafásicas e telofásicas, ampliações gênicas, células com aderências e atrasos cromossômicos e finalmente e células com presença de micronúcleos.

Análise estatística

A fim de determinar as diferenças entre os pontos de coletas, dados expressos como a média \pm desvio padrão foram comparados por análise de variância (ANOVA-oneway) seguido pelos pós teste de Tukey (considerando valores de $p < 0,05$ com significativo), por meio do programa *Graphpad prism 8* (software intuitivo para a Ciência, San Diego, CA).

RESULTADOS

Qualidade das águas da Barragem de Piaus

Observou-se que o parâmetro condutividade e turbidez apresentaram valores fora do aceitável pela legislação em todos os pontos amostrais. A cor diferiu do aceitável em alguns pontos (P1 - 20 cm e 80 cm; P2 - 80 cm; P4 - 20 cm e 80 cm) e os sólidos dissolvidos totais também ultrapassaram os valores permitidos em um ponto amostral (P4 80 cm). O pH foi o único parâmetro que apresentou valores aceitáveis pela legislação brasileira em todos os pontos amostrais coletados (Tabela 01). Em relação a profundidade por ponto avaliado.

O P1 20 cm apresentou maiores valores para condutividade, pH, SDT e cor quando comparado com P1 80 cm. Os pontos P2 e P3 20 cm tiveram maiores valores para temperatura, pH e turbidez quando comparados com sua profundidade de 80 cm. Já o P4 80 cm apresentou maiores valores para temperatura, pH, condutividade, SDT e turbidez quando comparado com sua profundidade de 20 cm.

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos das amostras de água coletadas na barragem de Piaus.

TR	Profundidade	Temperatura	pH	Condutividade	SDT	Cor	Turbidez
P1	20 cm	26,2 °C	8,92	253,6 $\mu\text{S cm}^{-1}$ *	315 ppm	81*	7,4*
P2	20 cm	26,5 °C	8,89	252,5 $\mu\text{S cm}^{-1}$ *	VND	63	7,9*
P3	20 cm	27,1 °C	8,94	244,9 $\mu\text{S cm}^{-1}$ *	VND	51	6,2*
P4	20 cm	27,0 °C	8,65	646,2 $\mu\text{S cm}^{-1}$ *	614 ppm*	107*	7,7*
P1	80 cm	27,1 °C	8,83	245,5 $\mu\text{S cm}^{-1}$ *	288 ppm	78*	10*
P2	80 cm	27,6 °C	8,77	249,1 $\mu\text{S cm}^{-1}$ *	308 ppm	90*	6,6*
P3	80 cm	27,2 °C	8,74	241,8 $\mu\text{S cm}^{-1}$ *	296 ppm	67	5,5*
P4	80 cm	27,4 °C	8,71	650,2 $\mu\text{S cm}^{-1}$ *	702ppm*	92*	7,9*
VMP	-	-	6 a 9	100 $\mu\text{S cm}^{-1}$	500 ppm	<75UHz	<5 NTU

Legenda: VMP, valor máximo permitido para ambientes lóticos (Resolução CONAMA 357/2005, estabelecido para águas doces classe 2). * Valor acima do VMP. SDT: sólidos dissolvidos totais. Considera-se P1 (local chamado de caldeirãozinho), P2 (local onde à presença de banhistas), P3 (antes do sangrador) e P4 (sangrador). VND: Valor não detectado.

Fonte: Sousa LDS, et al., 2024.

Potencial toxicogenético das amostras aquáticas

A **Tabela 2** mostra os valores referente ao índice mitótico (IM) e as alterações cromossômicas das células de *A. cepa* L. tratadas com água destilada (CN), metilmetanosulfonato 5 $\mu\text{g/mL}$ (CP) e água proveniente da barragem de Piaus dos diferentes pontos avaliados (com profundidade de 20 cm e 80 cm), levando em consideração o tempo de exposição (TE) estudado. Em relação ao IM, parâmetro de citotoxicidade, o primeiro TE (24hs) apenas o ponto P2 e P4 apresentaram citotoxicidade quando comparado com o controle negativo (CN). Porém, na medida que o TE aumentava, observou-se maior potencial citotóxico para essas amostras de água.

Nos TE 48 e 72hs, os pontos P1, P2, P3 e P4 apresentaram, em pelo menos uma profundidade, efeitos citotóxicos quando comparados com o CN. Todos os pontos e em todas as profundidades analisadas apresentaram menores valores de citotoxicidade quando comparados com o metilmetanosulfonato (CP). Em relação aos efeitos mutagênicos, foram observadas alterações cromossômicas a partir do TE de 48hs, com ênfase, para a profundidade de 80 cm nesse TE no qual todos os pontos apresentaram mutagenicidade. Para o TE 72hs, todos os pontos e profundidades apresentaram mutagenicidade. Todos os pontos e profundidades apresentaram diferenças estatísticas quando comapradas com o CP no que diz respeito ao potencial mutagênico (**Tabela 2**).

Tabela 2 - Avaliação de citotoxicidade e mutagenicidade das amostras de água coletadas em diferentes pontos e profundidade da barragem de Piaus em células meristemáticas vegetais de *A. cepa* após 24, 48 e 72h de exposição.

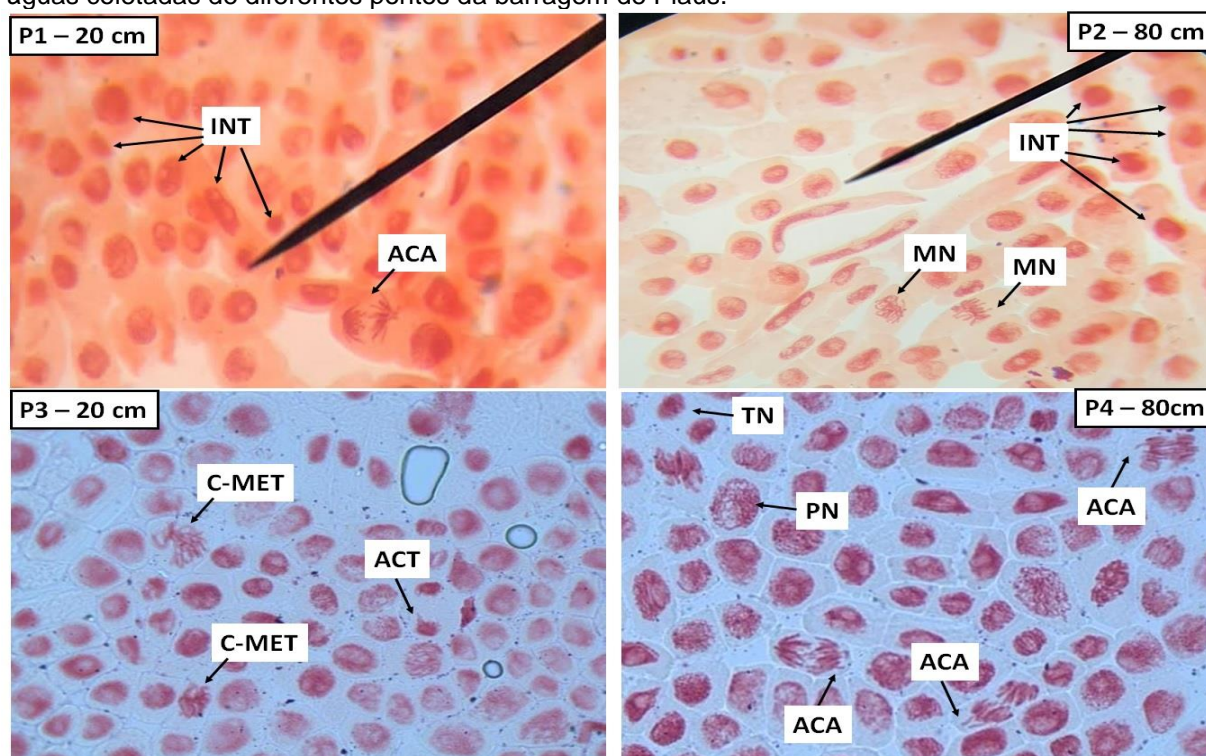
Amostras	TE	Profundidade	IM (%)	TAC
CN	-	-	40,5 \pm 2,5	0,6 \pm 0,5
CP	-	-	14,3 \pm 0,9 ^a	31,6 \pm 2,3 ^a
P1	-	-	41,4 \pm 1,8 ^b	2,0 \pm 1,0 ^b
P2	24h	20 cm	35,3 \pm 2,9 ^b	2,0 \pm 1,2 ^b
P3	-	-	39,6 \pm 1,2 ^b	2,0 \pm 1,0 ^b
P4	-	-	34,8 \pm 0,8 ^{ab}	2,6 \pm 1,1 ^b
P1	-	-	39,1 \pm 0,7 ^b	4,6 \pm 1,8 ^b
P2	48h	20 cm	32,5 \pm 0,7 ^{ab}	5,3 \pm 1,9 ^b
P3	-	-	33,5 \pm 2,0 ^{ab}	5,3 \pm 1,9 ^b
P4	-	-	31,7 \pm 0,6 ^{ab}	7,3 \pm 0,5 ^{ab}
P1	-	-	35,2 \pm 3,1 ^b	9,0 \pm 1,0 ^{ab}
P2	72h	20 cm	28,4 \pm 2,1 ^{ab}	12,6 \pm 3,0 ^{ab}
P3	-	-	29,1 \pm 0,4 ^{ab}	9,0 \pm 2,0 ^{ab}
P4	-	-	28,6 \pm 0,4 ^{ab}	14,6 \pm 2,0 ^{ab}
P1	-	-	37,5 \pm 2,6 ^b	4,0 \pm 1,8 ^b
P2	24h	80 cm	34,5 \pm 0,7 ^{ab}	5,0 \pm 2,0 ^b

Amostras	TE	Profundidade	IM (%)	TAC
P3	-	-	39,7 ± 2,1 ^b	2,3 ± 0,5 ^b
P4	-	-	34,3 ± 0,7 ^{ab}	4,6 ± 1,5 ^b
P1	-	-	33,6 ± 0,6 ^{ab}	7,6 ± 0,3 ^{ab}
P2	48h	80 cm	29,9 ± 1,1 ^{ab}	13,6 ± 4,7 ^{ab}
P3	-	-	36,3 ± 2,9 ^b	6,9 ± 0,5 ^{ab}
P4	-	-	30,9 ± 0,4 ^{ab}	7,3 ± 1,5 ^{ab}
P1	-	-	32,6 ± 1,3 ^{ab}	10,3 ± 1,5 ^{ab}
P2	72h	80 cm	27,8 ± 1,5 ^{ab}	14,0 ± 2,0 ^{ab}
P3	-	-	29,3 ± 1,0 ^{ab}	11,3 ± 1,5 ^{ab}
P4	-	-	28,2 ± 0,4 ^{ab}	15,3 ± 1,5 ^{ab}

Legenda: Cada tratamento foi testado em 3 *A. cepa* (3 raízes/*A. cepa*). CN: controle negativo; CP: controle positivo; MMS: metilmetanosulfonato (5 µg/mL); IM: Índice mitótico; TAC: Total de Alterações cromossômicas. Média ± desvio padrão. (ANOVA seguida de Tukey como post hoc teste; p<0,05). ^a:Estatístico em comparação ao CN e ^b: Estatístico em comparação ao CP. **Fonte:** Sousa LDS, et al., 2024.

Na **Figura 2**, observa-se um perfil fotomicrográfico de células meristemáticas de raiz de *A. cepa* após exposição com amostras de águas coletadas nos diferentes pontos da barragem de Piaus, todos com o TE 72hs. As principais alterações observadas na análise foram: células em C-MET (c-metáfase), ACT (atraso cromossômico em Telófase) e ACA (atraso cromossômico em anáfase).

Figura 2 - Perfil fotomicrográfico de células meristemáticas vegetais após exposição as amostras de águas coletadas de diferentes pontos da barragem de Piaus.



Legenda: INT: Interfase; PN: Prófase; MN: metáfase normal; TN: telófase normal; C-MET: c-metáfase; ACT: atraso cromossômico em Telófase; PN: prófase normal; ACA: atraso cromossômico em anáfase. **Fonte:** Sousa LDS, et al., 2024.

DISCUSSÃO

A poluição ambiental aquática é um problema grave e crescente, as diferentes ações antrópicas em determinadas áreas transformam as estruturas físico-químicas dos ecossistemas naturais e alteram o ciclo hidrológico. A acumulação de produtos químicos industriais, agrícolas e domésticos, leva a uma série de efeitos deletérios sobre os organismos vivos, incluindo a saúde humana (YU J, et al., 2013), reduzindo

desta forma a oferta de água e conseqüentemente os índices de qualidade de prejudicando a utilização pela sociedade para diversos fins (BIANCHI J, et al., 2011). A análise dos resultados físico-químicos das amostras de águas coletadas em diferentes pontos ao longo da barragem de Piaus no período de seca revelou que a mesma possui para os parâmetros condutividade, a quantidade de sólidos dissolvidos totais, cor e turbidez não aceitáveis de acordo com Resolução CONAMA 257/2005, caracterizando, portanto, a presença da ação antropogênica nesse tipo de ecossistema. No presente estudo, em todos os pontos analisados a condutividade elétrica se apresentou acima do valor aceitável pela legislação.

O aumento da condutividade elétrica é um sinal da presença de materiais dissolvidos. Segundo a Empresa de Tecnologia de Saneamento Ambiental-CETESB (2005), valores de condutividade elétrica superiores a 100 mS cm⁻¹ impactam negativamente os ambientes aquáticos. Essa variável pode ajudar a detectar fontes poluidoras dos ecossistemas aquáticos e fornecer dados sobre o metabolismo do ambiente e sobre os fenômenos que ocorram na sua bacia de drenagem (SOUSA JMC, et al., 2017, CETESB, 2011). A cor e a turbidez são parâmetros físicos importantes para caracterizar amostras aquáticas.

As suas aplicações nos estudos e fenômenos que ocorrem nos ecossistemas aquáticos tornam as características físicas indispensáveis à maioria dos trabalhos envolvendo qualidade de águas e estudos de poluição SOUSA JMC, et al., (2017). Em quase todos os pontos analisados o parâmetro turbidez e cor estavam fora do padrão permitido, com exceção para o ponto P2 (20 cm) e P3 (20 e 80 cm) para variável cor. Essas 02 variáveis normalmente estão relacionadas com o aumento de sólidos dissolvidos totais (SDT).

Esse aumento de sólidos dissolvidos pode ter sido provocado por esgotos e efluentes industriais, uma vez que estes aumentam a concentração de SDT no ambiente aquático pois são uma mistura complexa de cloretos, sulfatos, bicarbonatos e outras substâncias (BARBOSA JS, et al., 2010), que são conhecidos por conferirem potenciais efeitos tóxicos, citotóxicos e genotóxicos para os organismos que vivem e/ou usufruem do ambiente aquático.

O presente trabalho, juntamente com os trabalhos de Bianchi J, et al. (2011) e Manzano BC, et al., (2015), utilizaram o sistema *A. cepa*, como bioensaio para avaliações de mutagênese ambiental. Nos 03 trabalhos mencionados foram observados a presença de efeitos citotóxicos e mutagênicos em ambientes aquáticos os quais tem índices de qualidade de água contestáveis, provavelmente relacionados com a presença de efluentes domésticos, agrícolas e/ou industriais.

Nos pontos coletados da barragem de Piaus, temos locais com águas lânticas que contribuem para o acúmulo de agentes poluidores xenobióticos, população ribeirinha com agricultura e criação de animais, bem como pontos turísticos com frequência constante de humanos liberando produtos de limpeza, bebidas no geral, produtos alimentícios e outros.

Os hidrocarbonetos aromáticos e policíclicos (PHAs), metais pesados e compostos organoclorados, embora não estudados e quantificados no nosso presente estudo, são normalmente liberados e frequentes em ambientes aquáticos que sofrem de atividades humanas com efluentes agrícolas e domésticos, podendo também estar envolvidos nos efeitos citotóxicos e mutagênicos no ambiente aquático (DI GIORGIO C, et al. 2011; MAI H, et al. 2013). Os resultados de *Allium cepa* apresentaram danos, mutagênicos tais como células em C-MET (c-metáfase), ACT (atraso cromossômico em Telófase) e ACA (atraso cromossômico em anáfase), todos relacionados com problemas de fuso mitótico.

Alguns PHAs, como antraceno e fenantreno, bem como metais como Fe, Zn, e Cu são causadores de parada de ciclo celular e indutores de problemas em proteínas do fuso mitótico (DUSMAN E, 2010; BARBOSA JS 2010; SIDDIQUI AH, et al., 2011).

Em resumo, os organismos expostos à ambientes poluídos podem sofrer de problemas de pequena ou grande escala na divisão celular, genética e/ou mutações cromossômicas com uma redução da capacidade de reprodução ao longo tempo, podendo causar a sua eliminação do ambiente em casos de organismos que vivem diretamente no ambiente ou problemas de saúde sérios como no caso dos humanos que utilizam dessas águas (FARMER PB, 2008; SINGH R, 2008; LEME DM e MARIN-MORALES MA, et al., 2009).

CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou os efeitos citotóxicos e genotóxicos de amostras de água da barragem de Piauí em células meristemáticas de *A. cepa*. A análise físico-química revelou a presença de poluição humana que está provavelmente relacionado com os efeitos celulares encontrados. São necessários estudos adicionais relativos à determinação da presença de agentes toxicogenéticos liberados juntamente com avaliações temporais utilizando novos parâmetros físicos e químicos no ambiente aquático desta barragem.

REFERÊNCIAS

1. AGUIAR RB e GOMES JRC. Projeto de fontes de abastecimento por água subterrânea, Estado do Piauí: diagnóstico do município de São Julião. 2004. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/16362/1/Rel_Picos.pdf. Acessado em: 29 de novembro de 2023.
2. AIUB CAF e FELZENSALB I. O uso de *Allium cepa* como modelo experimental para investigar genotoxicidade de substâncias usadas em conservantes alimentares. Revista Genética na Escola, 2011; 6(1):12-15.
3. BARBOSA JS, et al. Genotoxicity assessment in aquatic environment impacted by the presence of heavy metals. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2010; 73: 320-325.
4. BIANCHI J, et al. Genotoxicity and mutagenicity of water samples from the Monjolinho River (Brazil) after receiving untreated effluents. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2011; 74: 826–833.
5. BUENO LF, et al. Monitoramento de variáveis de qualidade da água do Horto ouro verde – Conchal – SP. Eng. Agríc., Jaboticabal, 2005; 25(3): 743.
6. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório da qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo. Ed 2005, Ano 2004. São Paulo: CETESB, 2005; 273 p.
7. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Desenvolvimento de Métodos para o Estabelecimento de Critérios Ecotoxicológicos: Relatório Final. São Paulo: CETESB, 2008; 174 p.
8. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas. São Paulo: CETESB, 2011; 327 p.
9. CONAMA – Conselho Nacional do Meio ambiente. Resolução 357/2005. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/praias/res_conama_357_05.pdf . Acessado em: 15 de fevereiro de 2023.
10. CONAMA – Conselho Nacional do Meio ambiente. 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental nº 1. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0001-230186.PDF>. Acessado em: 29 de outubro de 2023.
11. COSTA CR, et al. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. Quim. Nova, 2008; 31:1820-1830.
12. COSTA RMA e MENK CFM (2008) Biomonitoramento de mutagênese ambiental. Biotecnologia: ciência e desenvolvimento, 2008; 12: 24-26.
13. DI GIORGIO C, et al. Comparison of two extraction procedures for the assessment of sediment genotoxicity: Implication of polar organic compounds. Mutation Research, 2011; 725: 1– 12.
14. DÜSMAN E, et al. *Allium cepa* L. as a bioindicator to measure cytotoxicity of surface water of the Quatorze River, located in Francisco Beltrão, Paraná, Brazil. Environment Monitoring Assessment, 2014;186: 1793–1800.
15. ESPÍNDOLA EL et al. A bacia hidrográfica do rio do Monjolinho. São Carlos, SP: Rima, 2000; 36-40p.
16. FARMER PB e SINGH R. Use of DNA adducts to identify human health risk from exposure to hazardous environmental pollutants: the increasing role of mass spectrometry in assessing biologically effective doses of genotoxic carcinogens. Mutation Research, 2008; 659: 68–76.
17. GUERRA M e SOUZA MJ. Como observar cromossomos – Um guia de técnicas em citogenética vegetal, animal e humana. 1. ed. Ribeirão Preto: FUNPEC, 2002; 131p.

18. LEME, DM, MARIN-MORALES, MA. *Allium cepa* test in environmental monitoring: a review on its application. *Mutation Research*, 2009; 682: 71–81.
19. LIMA EBNR. Modelagem integrada para gestão da qualidade da água na Bacia do Rio Cuiabá. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001; 102 p.
20. MAI H, et al. Environmental concentrations of irgarol, diuron and S-metolachlor induce deleterious effects on gametes and embryos of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. *Marine Environmental Research*, 2013; 89: 1-8.
21. ANO BC, et al. Evaluation of the genotoxicity of waters impacted by domestic and industrial effluents of a highly industrialized region of São Paulo State, Brazil, by the comet assay in HTC cells. *Environment Science Pollution Research*, 2015; 22: 1399–1407.
22. MATSUMOTO ST, et al. Genotoxicity and mutagenicity of water contaminated with tannery effluents and comet assay using the fish *Oreochromis niloticus* and chromosome alterations in onion root-tips. *Genet. Mol. Biol*, 2006; 29: 48-158a.
23. MIHALJEVIĆ Z et al. Assessment of genotoxic potency of sulfate-rich surface waters on medicinal leech and human leukocytes using different versions of the Comet assay. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2011; 74 (5): 1416-1426.
24. OLIVEIRA LM, et al. Potencial mutagênico dos poluentes na água do rio Paraíba do Sul em Tremembé, SP, Brasil, utilizando o teste *Allium cepa*. *Ambiente & Água*, Taubaté, 2011; 6 (1): 90-103.
25. PEREIRA TS. Biomonitoramento de poluições humana através de avaliação de genotoxicidade em áreas sujeitas a risco ecotoxicológico. Tese (Doutorado em Ecologia) – Pós-Graduação em Ecologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008; 221 p.
26. SIDDIQUI AH, et al. Validation of plant-based bioassays for the toxicity testing of Indian waters. *Environment Monitoring Assessment*, 2011; 179: 241–253.
27. SOARES LM, et al. Avaliação da qualidade da água de rios brasileiros utilizando células meristemáticas de *Allium cepa* como bioindicador: uma revisão integrativa. *Brazilian Journal of Development*. Curitiba, 2021; 7(1): 698.
28. SOUSA JMC, et al. Cytotoxicity and genotoxicity of Guaribas river water (Piauí, Brazil), influenced by anthropogenic action. *Environmental monitoring and assessment*, 2017;189: 301.
29. SOUZA AVC. Avaliação citogenotóxica da efluente têxtil tratado por processo biológico e físico – químico. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental). Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2017; 95p.
30. WHO, World Health Organization. Health topics: Water. 2018. Disponível em: <<http://www.who.int/topics/water/en/>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2023.
31. YU J, et al. Re-Examination of the Genotoxic Activity of Water Taken from the Songhua River in P. R. China. *Arch Environ Contam Toxicol*, 2013; 65: 7.