CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM RADIOLOGIA

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE PATOS – UNIFIP

GABRIEL RODRIGUES SILVA

EFEITOS ECOTOXICOLÓGICOS E GENOTÓXICOS DA IOPROMIDA EM DIFERENTES ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO DA *Artemia salina*

PATOS-PB

2026

GABRIEL RODRIGUES SILVA

EFEITOS ECOTOXICOLÓGICOS E GENOTÓXICOS DA IOPROMIDA EM DIFERENTES ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO DA *Artemia salina*

Projeto de pesquisa apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II), do Cursos de Superior de Tecnologia em Radiologia, como requisito parcial para obtenção de aprovação.

Orientador: Prof. Me. Daniel Lopes Araújo

PATOS-PB

2026

FICHA CATALOGRÁFICA
Dados de Acordo com AACR2, CDU e CUTTER
Biblioteca Central - UNIFIP

Silva, Gabriel Rodrigues.
S586e Efeitos Ecotoxicológicos e Genotóxicos da Iopromida em Diferentes Estágios de Desenvolvimento da Artemia Salina. / Gabriel Rodrigues Silva. – Patos – PB: UNIFIP, 2026.
42 fls.

Orientador (a): Prof. Me. Daniel Lopes Araújo.
Artigo, Graduação de Tecnologia em Radiologia.

1. Contraste radiológico. 2. Contaminantes emergentes. 3. Ensaio cometa. 4. Toxicidade aquática. I. Título. II. Centro Universitário de Patos – UNIFIP.

UNIFIP/BC CDU: 615.849

Yasmim Caroline Andrade Nóbrega. CRB 15/1086

GABRIEL RODRIGUES SILVA

EFEITOS ECOTOXICOLÓGICOS E GENOTÓXICOS DA IOPROMIDA EM DIFERENTES ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO DA *Artemia salina*

Projeto de pesquisa apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II), do Cursos de Superior de Tecnologia em Radiologia, como requisito parcial para obtenção de aprovação.

Aprovado em: 26/05/2026

BANCA EXAMINADORA

Daniel Lopes Araújo

Prof. Me. Daniel Lopes Araújo (Orientador)
Centro Universitário de Patos – UNIFIP

José Bruno da Silva Leite

Prof. Me. José Bruno da Silva Leite (Examinador Interno)
Centro Universitário de Patos – UNIFIP

Eullállia Gonçalo das Neves e Silva

Profa. Me. Eullállia Gonçalo das Neves e Silva (Examinador externo)
Centro Universitário de Patos – UNIFIP

Dedico esse trabalho aos meus pais, Damião e Cícera.

AGRADECIMENTOS

A minha família, em especial, aos meus pais, Damião e Cícera, meu irmão Thiago e minha tia Alexsandra, agradeço o esforço em não deixar nada faltar e por todo apoio dado nessa fase.

Ao meu orientador, professor Me. Daniel Lopes Araújo pela sua orientação, supervisão e dedicação no trabalho que desenvolvemos.

Ao meu amor, Samira Araújo, pelo incentivo dado para que eu iniciasse na vida acadêmica e por todo apoio até aqui.

Aos meus amigos mais recentes: Claryce, Maria, Leiciane, Rita, Jorge e Marcelo, obrigado por compartilharem comigo saberes e me presentearem com tantos momentos.

Agradeço a grandes amigos que a vida acadêmica me presenteou: Vera Lucia, José Anderson, Ana Clara, Franciele, Gil, Bárbara e Andriele, obrigado por confiarem a mim suas amizades e por tornarem a rotina do dia-a-dia mais fácil. Minha história também é um pouco de vocês.

A todo corpo docente do UNIFIP, em especial, os professores Bruno, Daniel, Natan, Lídia e Dagrimar, que hoje mais que professores, são verdadeiros amigos. Agradeço por todo conhecimento dado durante esse percurso.

Gostaria de agradecer a todos que contribuíram diretamente ou indiretamente com a realização deste trabalho e aqueles que foram responsáveis por caminhar comigo até aqui.

A todos agradeço.

Nada na vida deve ser temido, somente compreendido. Agora é hora de compreender mais para temer menos (MARIE CURIE).

RESUMO

A iopromida é um contraste radiológico iodado amplamente utilizado em procedimentos diagnósticos e considerada um contaminante emergente devido à sua persistência em ambientes aquáticos. Este estudo avaliou os efeitos ecotoxicológicos da iopromida em diferentes estágios de desenvolvimento de *Artemia salina*. Náuplios, metanáuplios e adultos foram expostos às concentrações de 62,3; 124,6; 249,2 e 498,4 µg/mL por 24 e 48 h. A mortalidade apresentou comportamento concentração-dependente, sendo mais elevada nos estágios larvais. Em náuplios, a mortalidade atingiu aproximadamente 45% após 48 h na maior concentração testada, enquanto metanáuplios apresentaram mortalidade próxima a 40%. Em contraste, os organismos adultos exibiram menor susceptibilidade, com mortalidade inferior a 25% nas mesmas condições experimentais. Alterações morfológicas e estruturais também foram observadas nos organismos expostos, incluindo deformações corporais e comprometimento estrutural. Adicionalmente, o ensaio cometa realizado em náuplios revelou aumento significativo dos danos ao DNA, evidenciado pelo aumento da porcentagem de DNA na cauda e do momento da cauda em relação ao controle negativo. Os resultados demonstram que a iopromida apresenta potencial ecotoxicológico e genotóxico em *Artemia salina*, reforçando a necessidade de monitoramento ambiental de contrastes radiológicos iodados e de estudos sobre seus efeitos em organismos aquáticos.

Palavras-chave: Contraste radiológico; Contaminantes emergentes; Ensaio cometa; Toxicidade aquática.

ABSTRACT

Iopromide is an iodinated radiographic contrast agent widely used in diagnostic procedures and considered an emerging contaminant due to its persistence in aquatic environments. This study evaluated the ecotoxicological effects of iopromide on different developmental stages of *Artemia salina*. Nauplii, metanauplii, and adults were exposed to concentrations of 62.3, 124.6, 249.2, and 498.4 µg/mL for 24 and 48 h. Mortality showed a concentration-dependent pattern, with greater sensitivity observed in larval stages. In nauplii, mortality reached approximately 45% after 48 h at the highest tested concentration, while metanauplii showed mortality close to 40%. In contrast, adult organisms exhibited lower susceptibility, with mortality below 25% under the same experimental conditions. Morphological and structural alterations were also observed in exposed organisms, including body deformities and structural impairment. Additionally, the comet assay performed in nauplii revealed significant DNA damage, evidenced by increased tail DNA percentage and tail moment compared to the negative control. The results demonstrate that iopromide presents ecotoxicological and genotoxic potential in *Artemia salina*, highlighting the need for environmental monitoring of iodinated radiographic contrast agents and further investigations regarding their effects on aquatic organisms.

Keywords: Radiographic contrast agent; Emerging contaminants; Comet assay; Aquatic toxicity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mortalidade de náuplios de *Artemia salina* expostos a diferentes concentrações de iopromida após 24 e 48 horas de exposição.

Figura 2: Mortalidade de metanáuplios de *Artemia salina* expostos a diferentes concentrações de iopromida após 24 e 48 horas de exposição.

Figura 3: Mortalidade de adultos de *Artemia salina* expostos a diferentes concentrações de iopromida após 24 e 48 horas de exposição.

Figura 4: Efeitos teratogênicos e toxicidade morfológica da iopromida em náuplios de *Artemia salina*.

Figura 5: Perfis de fragmentação de DNA celular exposto a diferentes concentrações de iopromida (498,4 a 62,3 µg/mL).

Figura 6: Análise quantitativa dos parâmetros de dano ao DNA celular induzidos por diferentes concentrações de iopromida via ensaio cometa.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Percentual de mortalidade de náuplios de *Artemia salina* expostos a diferentes concentrações de iopromida após 24 e 48 horas.

Tabela 2. Percentual de mortalidade de metanáuplios de *Artemia salina* expostos a diferentes concentrações de iopromida após 24 e 48 horas.

Tabela 3. Percentual de mortalidade de adultos de *Artemia salina* expostos a diferentes concentrações de iopromida após 24 e 48 horas.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A. salina: Artemia salina;

TC: Tomografia Computadorizada;

Iodo-THM: Iodotrihalometano**;**

DBPs: subprodutos de desinfecção iodados;

OCDE: Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico;

EPA: Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos;

NaCl: Cloreto de Sódio;

NaOH: Hidróxido de Sódio;

HCl: Ácido Clorídrico;

IP: Iopromida;

C: Controle;

DL50: Dose Letal 50%;

DL90: Dose Letal 90%;

LISTA DE SÍMBOLOS

®: Marca registrada

µ: Micro

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	**13**
2	**MATERIAIS E MÉTODOS**	**15**
2.1	Descrição do tipo de pesquisa	15
2.2	Materiais, solventes e reagentes	**15**
2.3	Eclosão dos cistos	**15**
2.4	Estágio de desenvolvimento avaliado	**17**
2.5	Delineamento experimental	**17**
2.6	Exposição a iopromida	18
2.7	Avaliação de danos estruturais ou morfológicos	18
2.8	Procedimentos para análise de dados	**20**
2.9	Aspectos éticos e de biossegurança	20
3	**RESULTADOS E DISCUSSÕES**	20
4	**CONCLUSÃO**	**25**
	RECONHECIMENTO	**26**
	FINANCIAMENTO	**27**
	CONTRIBUIÇÃO	**28**
	CONFLITOS DE INTERESSE	28
	REFERÊNCIAS	29

Ecotoxicological and genotoxic effects of iopromide in different developmental stages of *Artemia salina*

Efeitos ecotoxicológicos e genotóxicos da iopromida em diferentes estágios de desenvolvimento da *Artemia salina*

Gabriel Rodrigues Silva[1], Janine Siqueira Nunes[2], Juliana Freitas de Sousa[4], Carla Rayanne Andrade Ferreira[4], José Bruno da Silva Leite[1], Eullállia Gonçalo das Neves e Silva[3], Daniel Lopes Araújo[1]

[1]Departamento de Radiologia, Centro Universitário de Patos (UNIFIP), Patos, Paraíba, Brasil

[2]Departamento de Biotecnologia, Universidade Federal da Paraíba (UFPE), João Pessoa, Paraíba, Brasil

[3]Departamento de Farmácia, Centro Universitário de Patos (UNIFIP), Patos, Paraíba, Brasil

[4]Departamento de Biologia Molecular, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba, Brasil

Abstract

Iopromide is an iodinated radiographic contrast agent widely used in diagnostic procedures and considered an emerging contaminant due to its persistence in aquatic environments. This study evaluated the ecotoxicological effects of iopromide on different developmental stages of *Artemia salina*. Nauplii, metanauplii, and adults were exposed to concentrations of 62.3, 124.6, 249.2, and 498.4 µg/mL for 24 and 48 h. Mortality showed a concentration-dependent pattern, with greater sensitivity observed in larval stages. In nauplii, mortality reached approximately 45% after 48 h at the highest tested concentration, while metanauplii showed mortality close to 40%. In contrast, adult organisms exhibited lower susceptibility, with mortality below 25% under the same experimental conditions. Morphological and structural alterations were also observed in exposed organisms, including body deformities and structural impairment. Additionally, the comet assay performed in nauplii revealed significant DNA damage, evidenced by increased tail DNA percentage and tail moment compared to the negative control. The results demonstrate that iopromide presents ecotoxicological and genotoxic potential in *Artemia salina*, highlighting the need for environmental monitoring of iodinated radiographic contrast agents and further investigations regarding their effects on aquatic organisms.

Keywords: Radiographic contrast agent; Emerging contaminants; Comet assay; Aquatic toxicity.

Highlights

- A iopromida induziu toxicidade dependente da concentração em *Artemia salina*.
- Os estágios larvais apresentaram maior susceptibilidade em comparação aos organismos adultos.
- A exposição à iopromida promoveu alterações morfológicas e estruturais.
- O ensaio cometa revelou danos significativos ao DNA em náuplios expostos à iopromida.

1. INTRODUÇÃO

A crescente inserção de contaminantes químicos nos ambientes aquáticos apresenta ameaça significativa à biodiversidade e ao funcionamento dessas comunidades. Entre os poluentes emergentes destaca-se a iopromida, um contraste radiológico iodado que permite a distinção de estruturas anatômicas com opacidades similares, muito utilizado em exames de tomografia computadorizada (TC) para estudo dos vasos sanguíneos (Martín *et al*., 2014).

Embora a iopromida seja considerado um medicamento de baixa toxicidade e pouca absorção pelo organismo, quando descartado de forma inadequada em ambientes aquáticos com a presença de cloro aquoso e monocloramina, produz níveis significativos de iodotrihalometano (iodo-THM) e iodoácidos. Sua presença em fontes de água pode ser motivo de preocupação devido à formação de subprodutos de desinfecção iodados (DBPs) altamente tóxicos em água clorada e cloraminada (Duirk *et al*., 2011).

Artemia salina (*A. salina*) é uma espécie de microcrustáceo reconhecida como um organismo modelo de cultivo em laboratório, ciclo de vida curto e elevada sensibilidade a agentes tóxicos (Jeyavani *et al*., 2022). *A. salina* é uma espécie de microcrustáceo da ordem Anostraca, esta espécie é utilizada em testes de citotoxicidade devido a sua capacidade de formar cistos dormentes, fornecendo desse modo material biológico que pode ser

armazenado durante longos períodos sem perda de viabilidade e sem necessidade de manterem culturas contínuas de organismo teste. É uma espécie de fácil manipulação em laboratório e baixo custo econômico (Lima *et al.,* 2009).

O estudo avalia os efeitos do contraste iodado à base de iopromida em organismos aquáticos sensíveis, tendo como modelo experimental *A. salina*, devido à sua alta sensibilidade e facilidade de manejo em laboratório. O estudo justifica-se em razão do uso desse composto em procedimentos diagnósticos, o que pode levar à sua liberação no ambiente aquático e ocasionar alterações que podem comprometer processos fisiológicos e reprodutivos nesses organismos. Diante disso, o estudo propõe investigar como a exposição a iopromida afeta a sobrevivência e a integridade morfológica de *A. salina* em diferentes estágios de desenvolvimento, contribuindo para a compreensão dos impactos ambientais e para o monitoramento da qualidade dos ecossistemas aquáticos.

A avaliação dos efeitos tóxicos de iopromida sobre *A. salina* permite estabelecer uma abordagem integrada de risco ecotoxicológico, contemplando a toxicidade química. Tal abordagem é alinhada com os princípios da avaliação de risco ecológico preconizados por órgãos internacionais, como a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Descrição do tipo de pesquisa

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa experimental, pois é um método de investigação científica que manipula viáveis para testar uma hipótese e estabelecer relações de causa e efeito.

2.2. Materiais, solventes e reagentes

Água destilada Milli-Q® (Merck Millipore), Cloreto de sódio (NaCl) P.A. (Synth®), Cistos de *A. salina* (INVE Aquaculture®), Contraste radiológico iodado (iopromida), Lâminas e lamínulas de vidro (Knittel Glass®), Micropipetas automáticas (Gilson®), Ponteiras estéreis (Axygen®), Solução de metilcelulose a 1% (Sigma-Aldrich®), Placas de Petri (Kasvi®), Microtubos de polipropileno (TTP®), Pipetas Pasteur estéreis (Kasvi®), Etanol P.A. (ACS grade) (Dinâmica®), pHmetro de bancada (Hanna Instruments HI-2211®), Termômetro digital (Incoterm®).

2.3. Eclosão dos cistos

Para obter os náuplios de *A. salina* a serem utilizados nos bioensaios, foi realizado a eclosão controlada dos cistos viáveis, seguindo protocolo adaptado de Sorgeloos *et al*., (1986) e Nunes *et al*., (2006). Inicialmente, foi preparada uma solução salina artificial, água destilada e cloreto de sódio (NaCl) de grau analítico, na concentração de 35 ± 2 g/L, que corresponde a salinidade ideal para o desenvolvimento de *A. salina*. O pH foi ajustado para 8,0 ± 0,5, mediante adição de hidróxido de sódio (NaOH) ou ácido clorídrico (HCl), garantindo condições ótimas para a eclosão.

Os cistos foram previamente hidratados em água destilada por um período de uma hora, sob leve agitação, com o objetivo de quebrar a dormência e uniformizar a hidratação. Após o preparo, os cistos hidratados e desinfetados foram transferidos para erlenmeyers ou béqueres de vidro contendo a solução salina preparada, na proporção de 1 g de cistos por litro de solução, a fim de evitar a superpopulação e garantir adequada oxigenação. O sistema foi mantido sob aeração vigorosa e contínua, utilizando bomba de ar acoplada a pedra porosa, garantindo que os cistos permaneçam em suspensão homogênea e favorecendo a oxigenação necessária ao processo de eclosão.

Decorrido o período de incubação, a aeração foi interrompida e os cistos remanescentes e exúvias (casulos vazios) foram deixados em repouso por cerca de 10 a 15 minutos, permitindo sua flotação. Os náuplios recém-eclodidos, por sua vez, tenderam a se concentrar nas zonas mais iluminadas do recipiente, facilitando sua coleta. A coleta foi realizada cuidadosamente com o auxílio de pipetas Pasteur estéreis, evitando a aspiração de exúvias ou cistos não eclodidos. Os náuplios foram então transferidos para novos recipientes contendo solução salina fresca, previamente preparada com as mesmas condições físico-químicas.

A qualidade do processo de eclosão foi verificada mediante avaliação da taxa de eclosão, considerada satisfatória quando igual ou superior a 80% após 24 a 48 horas, bem como pela observação da motilidade ativa dos náuplios, indicando sua vitalidade. Este protocolo visa assegurar a obtenção de náuplios de *A. salina* em condições fisiológicas ideais para sua posterior utilização nos bioensaios de avaliação dos efeitos tóxicos de iopromida, garantindo a reprodutibilidade e a confiabilidade dos resultados obtidos.

2.4. Estágios de desenvolvimento avaliados

Para avaliação dos efeitos tóxicos do contraste iodado, foi utilizado os estágios de náuplios metanáuplios e adultos, onde segundo a literatura, o estágio de náuplio é o mais sensível à agentes químicos e o mais utilizado em testes de toxicidade.

- Náuplios: organismos recém-eclodidos (estágio I), com até 24 horas de vida.
- Metanáuplios: organismos com 3 a 5 dias de vida, caracterizados por maior desenvolvimento morfológico e início da diferenciação dos apêndices torácicos.
- Adultos: organismos com 7 a 10 dias de vida, com características morfológicas bem definidas.

Os diferentes estágios foram obtidos mediante manutenção dos náuplios recém-obtidos em condições controladas de laboratório, alimentados com microalgas, até

atingirem as respectivas idades experimentais. A salinidade, temperatura, pH e iluminação permanecerão constantes durante todo o período de cultivo.

2.5. Delineamento experimental

Cada estágio de desenvolvimento foi submetido aos seguintes tratamentos:

1. Controle (C): sem adição de contraste.
2. Exposição a iopromida (IP): exposição apenas ao contraste, nas quatro concentrações indicadas.

Cada tratamento foi realizado em triplicata para as concentrações, além de um grupo controle (apenas solução salina) e um grupo controle positivo (solução salina e tiossemicarbazida em excesso), totalizando 18 amostras experimentais.

2.6. Exposição a iopromida

O contraste radiológico iodado foi preparado a partir da suspenção padrão de iopromida de grau analítico, com posterior diluição em solução salina artificial a 35 ± 2 g/L de NaCl, nas seguintes concentrações: 498.4, 249.2, 124.6 e 62.3 µg/ml.

Para cada unidade experimental, foi utilizado um volume 3 mL de solução salina contendo a concentração de contraste definida. A densidade de organismos foi ajustada conforme o estágio:

- Náuplios: 10 indivíduos por unidade experimental;
- Metanáuplios: 10 indivíduos por unidade experimental;
- Adultos: 10 indivíduos por unidade experimental.

Os organismos foram transferidos para os recipientes contendo as soluções de exposição utilizando micropipetas estéreis, evitando danos físicos. A exposição foi realizada por um período fixo de 48 horas, sob temperatura controlada de 25 ± 2 °C, com iluminação ambiente controlada e sem aeração, para evitar alterações nas propriedades físico-químicas das suspensões. Esse teste seguirá os protocolos de Barahona (1999).

2.7. Avaliação de danos estruturais ou morfológicos

Para a avaliação morfológica das alterações induzidas pela exposição à iopromida em *A. salina*, foi utilizada a técnica de microscopía óptica de contraste de fase (Melanthota *et al*., 2022), que possibilita a visualização de estruturas celulares e morfológicas sem necessidade de coloração ou preparo destrutivo, preservando a integridade dos organismos. Ao término dos bioensaios de exposição, espécimes representativos de cada grupo experimental, foram cuidadosamente coletados utilizando micropipetas Pasteur estéreis e transferidos para lâminas de vidro previamente limpas.

Os organismos foram imobilizados em pequenas gotas da própria solução salina, com espessura controlada, a fim de evitar a compressão excessiva ou desidratação. Para facilitar a imobilização, foi utilizada uma leve cobertura com lâmina de vidro, aplicada cuidadosamente para evitar danos físicos aos espécimes.

As observações morfológicas foram realizadas em microscópio óptico equipado com sistema de contraste de fase, permitindo a visualização nítida de detalhes anatômicos, como a morfologia dos apêndices locomotores, tegumento, antenas, olhos e estruturas cefálicas, além de alterações decorrentes da exposição ao contraste radiológico, tais como lesões superficiais, deformidades anatômicas, alterações no padrão pigmentário ou presença de partículas aderidas.

As imagens foram obtidas utilizando uma câmera digital acoplada ao microscópio, com ampliação variando entre 100x e 400x, conforme o tamanho do espécime e o nível de detalhamento necessário. Todas as imagens foram armazenadas em formato digital para

posterior análise. As mensurações morfológicas, como comprimento total, largura corporal, área dos apêndices e presença ou ausência de lesões, foram realizadas com o auxílio de software de análise de imagens (ImageJ), padronizando-se as medições para garantir a compatibilidade entre os diferentes grupos experimentais.

A análise foi realizada de forma qualitativa e quantitativa, permitindo identificar padrões de alterações morfológicas associadas aos diferentes tratamentos e aos diferentes estágios ontogenéticos. As observações foram conduzidas de forma sistemática, avaliando-se pelo menos 10 indivíduos por grupo experimental, garantindo uma amostragem representativa e adequada para a análise estatística subsequente.

Os dados obtidos através da microscopia óptica de contraste de fase foram correlacionados com os demais parâmetros avaliados no estudo, como mortalidade, possibilitando uma compreensão integrada dos efeitos tóxicos induzidos pelo contraste radiológico em *A. salina*.

2.7. Danos genotóxicos em náuplios de *Artemia salina*

Seguiu-se o protocolo de Xu *et al.,* (2015) nessa etapa, com pequenas modificações. Os danos genotóxicos induzidos pela iopromida foram avaliados pelo ensaio cometa alcalino (Single Cell Gel Electrophoresis – SCGE) utilizando náuplios de *Artemia salina* após 48 h de exposição. Aproximadamente 20 náuplios por grupo foram coletados, lavados em solução salina artificial (3,5%) e homogeneizados em 500 µL de PBS gelado (pH 7,4) para obtenção da suspensão celular.

A suspensão foi misturada à agarose de baixo ponto de fusão a 0,5% e distribuída sobre lâminas previamente recobertas com agarose normal a 1,5%. Após solidificação, as lâminas foram submetidas à lise celular por 24 h a 4 °C em solução contendo NaCl, EDTA, Tris-HCl, Triton X-100 e DMSO.

Em seguida, realizou-se desnaturação alcalina (300 mM NaOH e 1 mM EDTA; pH > 13) por 20 min, seguida de eletroforese a 25 V e 300 mA durante 20 min. As lâminas

foram neutralizadas, coradas com brometo de etídio (20 µg/mL) e analisadas em microscópio de fluorescência (400×). Foram avaliados 100 nucleoides por tratamento, classificados de acordo com o grau de migração do DNA para determinação do índice de dano genético.

2.8. Procedimentos para análise de dados

Os dados obtidos foram organizados em planilhas eletrônicas, registrando nelas o número de indivíduos expostos e mortos para cada grupo experimental de *A. salina*. A mortalidade foi calculada em porcentagem e utilizada para a determinação da Dose Letal Média (DL50) e, quando aplicável, da Dose Letal 90% (DL90).

Para a estimativa dessas doses letais, foi aplicada análise de regressão logística, ajustando-se os modelos de probit ou logit, conforme a melhor adequação aos dados. O ajuste foi realizado em software estatístico apropriado, Prism.

A comparação entre grupos experimentais foi realizada por análise de variância (ANOVA), como o teste de Tukey para comparações múltiplas. Os resultados foram expressos como médias ± desvio padrão.

2.9. Aspectos éticos e de biossegurança

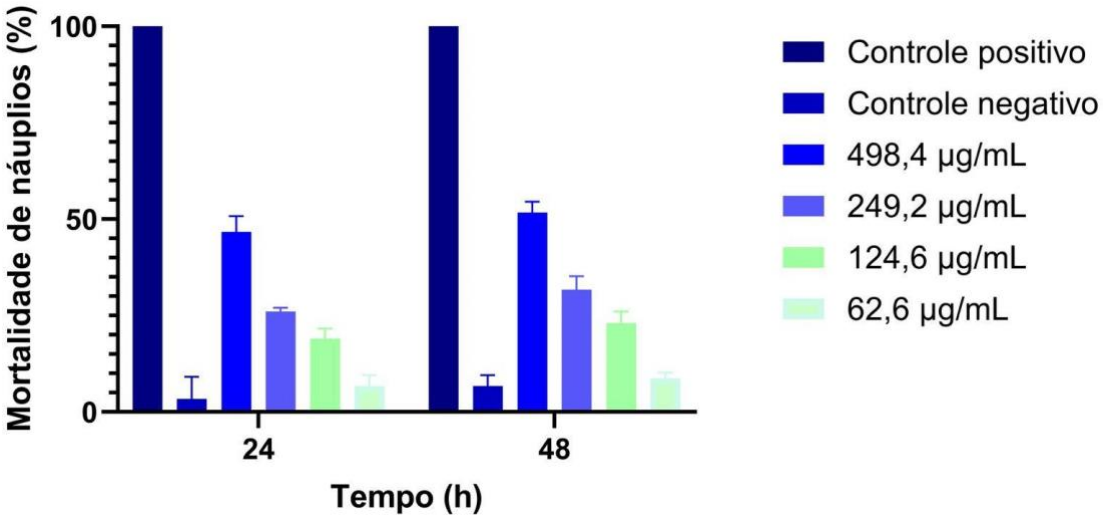
Embora *A. salina* não seja objeto de regulamentação por comitês de ética animal, todas as etapas do experimento foram conduzidas respeitando os princípios éticos e de biossegurança, conforme legislação ambiental vigente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Toxicidade da iopromida sobre diferentes estágios em desenvolvimento de *Artemia salina*

A exposição dos náuplios de *Artemia salina* à iopromida promoveu aumento da mortalidade de forma concentração-dependente nos períodos de 24 e 48 horas (Figura 1). Observa-se maior efeito tóxico nas concentrações mais elevadas (498,4 e 249,2 µg/mL), enquanto as menores concentrações apresentaram redução expressiva da mortalidade, indicando possível relação dose–resposta do contraste radiológico sobre os organismos teste. Além disso, o aumento discreto da mortalidade após 48 horas sugere influência do tempo de exposição na toxicidade observada.

Figura 1. Mortalidade de náuplios de *Artemia salina* expostos a diferentes concentrações de iopromida após 24 e 48 horas de exposição.



Fonte: Autoria própria (2026).

Os percentuais de mortalidade observados para os náuplios de *Artemia salina* expostos à iopromida nos diferentes tempos e concentrações encontram-se apresentados na Tabela 1. Os resultados evidenciam aumento da toxicidade nas maiores concentrações avaliadas, com discreta intensificação do efeito após 48 horas de exposição, corroborando o perfil dose–resposta observado experimentalmente.

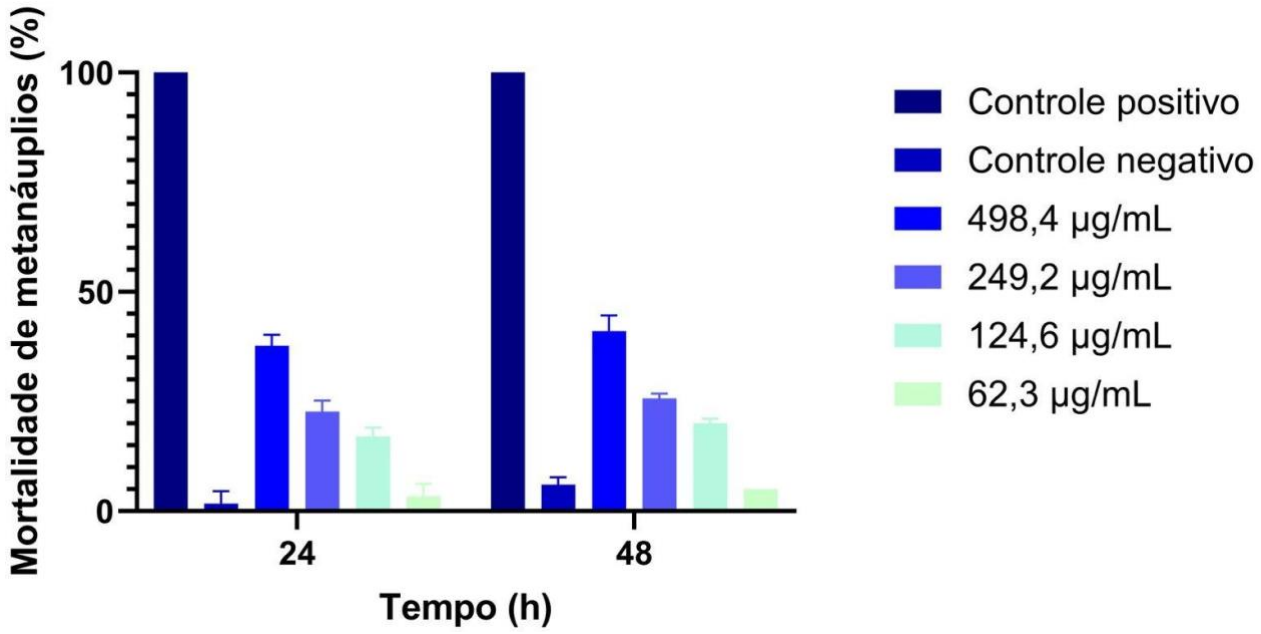
Tabela 1. Percentual de mortalidade de náuplios de *Artemia salina* expostos a diferentes concentrações de iopromida após 24 e 48 horas.

Grupo/Concentração	24h	48h
Controle positivo	100% ± 0,0	100% ± 0,0
Controle negativo	4% ± 2,5	7% ± 1,5
498,4 µg/ml	47% ± 2,1	52% ± 1,7
249,2 µg/ml	26% ± 1,0	32% ± 1,6
124,6 µg/ml	19% ± 1,8	23% ± 2,0
62,6 µg/ml	6% ± 2,0	8% ± 1,7

Os dados representam a porcentagem de mortalidade de náuplios de *Artemia salina* expostos à iopromida nas concentrações de 62,6; 124,6; 249,2 e 498,4 µg/mL, avaliadas após 24 e 48 h de exposição. O controle positivo apresentou 100% de mortalidade, enquanto o controle negativo exibiu baixa mortalidade basal. Os valores estão expressos como média ± desvio padrão.

A exposição dos metanáuplios de *Artemia salina* à iopromida resultou em aumento da mortalidade conforme a elevação da concentração e do tempo de exposição (Figura 2). As maiores concentrações avaliadas apresentaram os efeitos tóxicos mais pronunciados, especialmente após 48 horas, evidenciando sensibilidade dos organismos ao contraste radiológico. Em contrapartida, as menores concentrações promoveram baixa mortalidade, indicando menor impacto tóxico nas condições experimentais analisadas.

Figura 2. Mortalidade de metanáuplios de *Artemia salina* expostos a diferentes concentrações de iopromida após 24 e 48 horas de exposição.



Fonte: Autoria prória (2026).

Os percentuais de mortalidade dos metanáuplios de *Artemia salina* expostos à iopromida encontram-se apresentados na Tabela 2. Os resultados demonstram incremento da toxicidade em função do aumento da concentração e do tempo de exposição, reforçando o potencial efeito tóxico do contraste radiológico sobre os organismos avaliados.

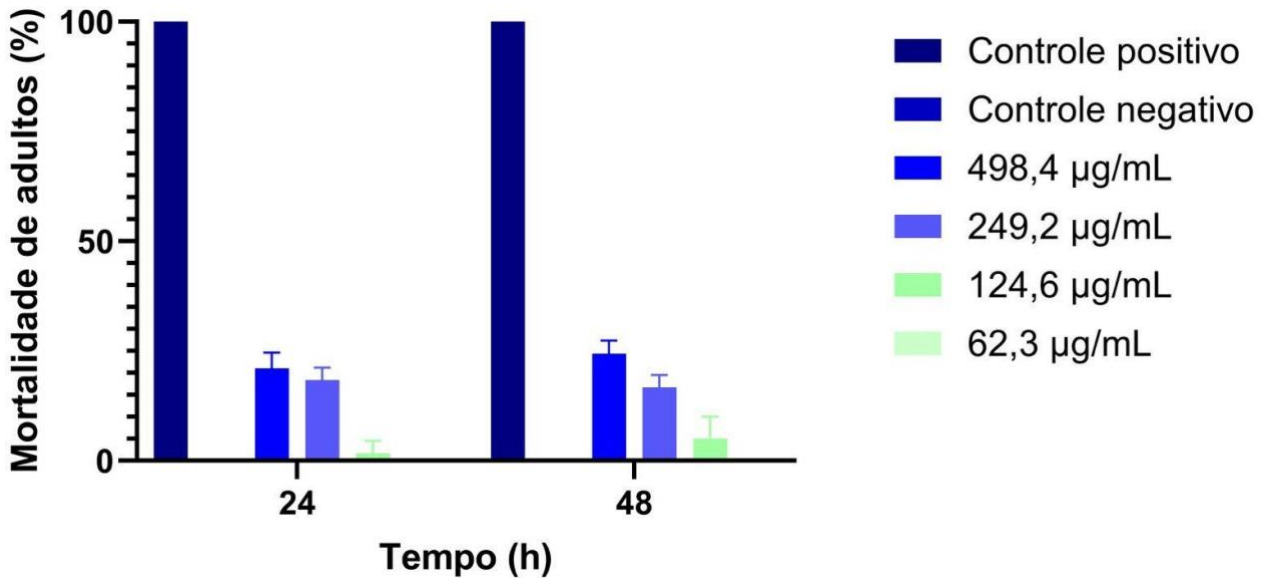
Tabela 2. Percentual de mortalidade de metanáuplios de *Artemia salina* expostos a diferentes concentrações de iopromida após 24 e 48 horas.

Grupo/Concentração	24h	48h
Controle positivo	100% ± 0,0	100% ± 0,0
Controle negativo	2% ± 1,8	6% ± 1,5
498,4 µg/ml	38% ± 2,0	41% ± 3,0
249,2 µg/ml	24% ± 2,1	27% ± 1,5
124,6 µg/ml	18% ± 1,4	21% ± 1,0
62,6 µg/ml	3% ± 2,0	5% ± 0.0

Os dados representam a porcentagem de mortalidade de metanáuplios de *Artemia salina* expostos à iopromida nas concentrações de 62,3; 124,6; 249,2 e 498,4 µg/mL, avaliadas após 24 e 48 h de exposição. O controle positivo apresentou 100% de mortalidade, enquanto o controle negativo exibiu mortalidade reduzida. Os resultados estão expressos como média ± desvio padrão.

A mortalidade dos adultos de *Artemia salina* expostos à iopromida está apresentada na Figura 3. Em comparação aos náuplios e metanáuplios, os organismos adultos apresentaram menor sensibilidade ao contraste radiológico, evidenciada pelos menores percentuais de mortalidade em todas as concentrações avaliadas. Mesmo nas maiores concentrações testadas, os adultos exibiram resposta tóxica mais discreta, sugerindo maior tolerância fisiológica nesse estágio de desenvolvimento. Além disso, observou-se leve aumento da mortalidade após 48 horas de exposição, indicando influência do tempo de contato sobre os efeitos tóxicos da iopromida.

Figura 3. Mortalidade de adultos de *Artemia salina* expostos a diferentes concentrações de iopromida após 24 e 48 horas de exposição.



Fonte: Autoria própria (2026).

Os percentuais de mortalidade dos adultos de *Artemia salina* expostos à iopromida encontram-se apresentados na Tabela 3. Os resultados demonstram menor susceptibilidade dos organismos adultos em relação aos estágios de náuplio e metanáuplio, evidenciada pelos reduzidos índices de mortalidade observados mesmo nas maiores concentrações avaliadas.

Tabela 3. Percentual de mortalidade de adultos de *Artemia salina* expostos a diferentes concentrações de iopromida após 24 e 48 horas.

Grupo/Concentração	24h	48h
Controle positivo	100% ± 0,0	100% ± 0,0
Controle negativo	0% ± 0,0	0% ± 0,0
498,4 µg/ml	21% ± 2,5	26% ± 2,0
249,2 µg/ml	19% ± 2,0	20% ± 1,5
124,6 µg/ml	3% ± 1,8	7% ± 3,5
62,6 µg/ml	0% ± 0,0	0% ± 0.0

Os dados representam a porcentagem de mortalidade de adultos de *Artemia salina* expostos à iopromida nas concentrações de 62,3; 124,6; 249,2 e 498,4 µg/mL, avaliadas após 24 e 48 h de exposição. O controle positivo apresentou 100% de mortalidade, enquanto o controle negativo exibiu mortalidade reduzida. Os resultados estão expressos como média ± desvio padrão.

Não foi possível determinar a concentração letal média (CL_{50}) da iopromida para *Artemia salina* nas condições experimentais avaliadas, uma vez que a maioria dos grupos expostos não apresentou mortalidade igual ou superior a 50%, mesmo nas maiores concentrações testadas. Dessa forma, os dados obtidos não atenderam aos critérios estatísticos necessários para aplicação confiável dos modelos de estimativa de CL_{50}, indicando que o composto apresentou toxicidade aguda moderada nas concentrações analisadas.

Os resultados obtidos demonstraram que a exposição à iopromida promoveu aumento da mortalidade em náuplios e metanáuplios de *Artemia salina*, com efeito dependente da concentração e do tempo de exposição. As maiores concentrações testadas apresentaram os percentuais mais elevados de mortalidade, evidenciando potencial efeito tóxico do contraste radiológico sobre os organismos avaliados. Embora os controles negativos tenham apresentado baixa mortalidade basal, os grupos expostos à iopromida

exibiram resposta tóxica progressiva, sugerindo interferência direta do composto sobre a viabilidade dos microcrustáceos.

Os meios de contraste iodados, incluindo a iopromida, são classificados como contaminantes emergentes devido à elevada estabilidade química, alta solubilidade em água e baixa biodegradabilidade, características que favorecem sua persistência em ambientes aquáticos (Borowska, 2015). Estudos recentes (Nowak, 2020), demonstram que esses compostos são frequentemente detectados em efluentes hospitalares, estações de tratamento de esgoto, águas superficiais e até mesmo água potável, frequentemente sem sofrer degradação significativa durante os processos convencionais de tratamento.

Apesar de muitos meios de contraste iodados serem tradicionalmente considerados compostos de baixa toxicidade aguda para organismos aquáticos, pesquisas recentes têm demonstrado que a exposição contínua ou em concentrações elevadas pode desencadear efeitos subletais e tóxicos importantes, incluindo estresse oxidativo, alterações metabólicas, danos celulares e distúrbios fisiológicos em diferentes níveis tróficos (Wrzesińska *et al.,* 2026). Nesse contexto, os resultados observados no presente estudo reforçam a necessidade de avaliações ecotoxicológicas mais abrangentes envolvendo meios de contraste radiológicos, especialmente devido ao crescente consumo mundial desses agentes diagnósticos.

A utilização de *Artemia salina* como organismo-teste é amplamente consolidada em estudos ecotoxicológicos em razão de sua elevada sensibilidade a contaminantes químicos, facilidade de cultivo e rápida resposta biológica frente à exposição tóxica. Revisões clássicas como a de Nunes *et al.,* (2006) e Kalčíková (2012), apontam que parâmetros como mortalidade, alterações comportamentais e comprometimento do desenvolvimento tornam esse microcrustáceo um modelo eficiente para avaliação de toxicidade ambiental. Além disso, estudos recentes (Pacheco *et al.,* 2021; Albarano *et al.,* 2022) destacam que diferentes estágios de desenvolvimento de *Artemia* podem apresentar sensibilidades distintas frente

aos contaminantes, justificando a avaliação separada de náuplios, metanáuplios e organismos adultos.

Os resultados encontrados neste trabalho apresentam comportamento semelhante ao observado em estudos com outros contaminantes emergentes e agentes químicos. Exposição de *Artemia salina* a metais pesados, nanopartículas e metalofármacos demonstrou aumento significativo da mortalidade de maneira dose-dependente, frequentemente associado à geração de estresse oxidativo e danos celulares (Vitorino *et al.,* 2015; Pacheco *et al.,* 2021).

Embora não existam estudos envolvendo especificamente a iopromida em *Artemia salina*, trabalhos com contaminantes emergentes apresentam tendências semelhantes às observadas neste estudo.

Em estudo envolvendo compostos de urânio (Pedroso et al., 2021), por exemplo, foi observado comprometimento da sobrevivência e alterações fisiológicas relevantes em *Artemia salina*, especialmente após maiores períodos de exposição. Esses achados corroboram a tendência observada no presente estudo, em que o aumento do tempo de contato com a iopromida intensificou a mortalidade dos organismos.

Resultados semelhantes foram descritos em estudos envolvendo nanopartículas e microcontaminantes aquáticos. Pecoraro *et al.,* (2021), destacaram que náuplios de *Artemia salina* apresentam elevada susceptibilidade à exposição de nanopartículas, com aumento da mortalidade associado à capacidade de absorção e bioacumulação dessas substâncias. De maneira semelhante, Ates *et al.,* (2013), observaram que nanopartículas de dióxido de titânio promoveram efeitos tóxicos progressivos, incluindo alterações fisiológicas e comprometimento da sobrevivência larval.

Embora os percentuais de mortalidade observados para a iopromida não tenham atingido níveis extremamente elevados em todas as concentrações avaliadas, os resultados indicam que o composto exerce impacto biológico mensurável sobre os organismos expostos. Esse aspecto torna-se particularmente relevante considerando que os meios de

contraste iodados são continuamente introduzidos no ambiente aquático em decorrência do uso hospitalar e diagnóstico em larga escala. Além disso, estudos recentes alertam que produtos de transformação gerados durante processos oxidativos ou de desinfecção podem apresentar toxicidade ainda superior à dos compostos originais (Nowak, 2020).

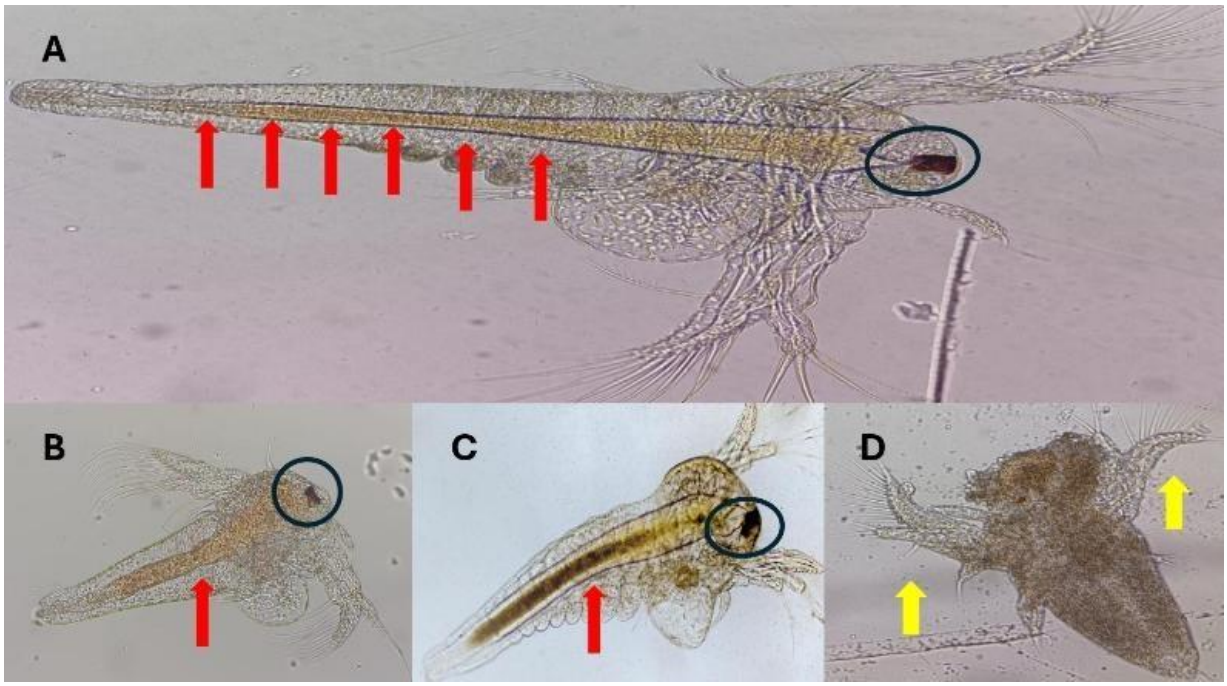
Outro aspecto importante refere-se às diferenças observadas entre os estágios de desenvolvimento avaliados. Os metanáuplios apresentaram perfil toxicológico semelhante ao observado para os náuplios, porém com variações na intensidade da resposta biológica em determinadas concentrações. Essa diferença pode estar associada a alterações fisiológicas relacionadas ao desenvolvimento, capacidade metabólica, permeabilidade corporal e mecanismos de defesa antioxidante entre os estágios larvais de *Artemia salina*. Trabalhos recentes destacam que organismos em diferentes fases ontogenéticas podem responder de maneira distinta à exposição a contaminantes químicos, o que reforça a importância da avaliação ecotoxicológica em múltiplos estágios de desenvolvimento.

3.2 Alterações morfológicas e estruturais em *Artemia salina* induzidas pela iopromida

As análises morfológicas revelaram que a exposição de *Artemia salina* a concentrações crescentes de iopromida induziu efeitos tóxicos e teratogênicos severos de forma dose-dependente (Figura 4). Enquanto o grupo controle exibiu integridade estrutural, com o trato digestivo linear e o olho do náuplio com pigmentação compacta (Figura 4A), os organismos expostos apresentaram danos progressivos. Nas concentrações iniciais e intermediárias, observou-se a perda da homeostase digestiva através da redução de conteúdo e posterior compactação escura do intestino (setas vermelhas), acompanhada pela dispersão do pigmento ocular (círculos azuis) (Figuras 4B e 4C). Sob a máxima concentração do contraste iodado, o efeito citotóxico culminou na completa

desestruturação do plano corporal do microcrustáceo, caracterizada por severa atrofia e deformação dos apêndices natatórios (setas amarelas) e necrose tecidual generalizada (Figura 4D), evidenciando o elevado potencial de toxicidade do xenobiótico sobre o desenvolvimento do organismo-teste.

Figura 4. Efeitos teratogênicos e toxicidade morfológica da iopromida em náuplios de *Artemia salina*.



Fonte: Autoria própria (2026).

Os efeitos morfológicos e teratogênicos observados neste estudo demonstram que a iopromida, apesar de ser classificada clinicamente como um contraste não iônico de baixa osmolalidade, exerce expressiva toxicidade sobre o desenvolvimento do microcrustáceo *Artemia salina*. A resposta dose-dependente caracterizada pela desestruturação do trato digestivo, dispersão do pigmento ocular e atrofia generalizada dos apêndices natatórios corrobora os achados de Pires *et al.,* (2021), que apontam os meios de contraste iodados (MCI) como contaminantes emergentes de alta persistência com capacidade de induzir anomalias fenotípicas severas em invertebrados marinhos de triagem ecotoxicológica.

A descoloração seguida de forte compactação e escurecimento do trato digestivo de *A. salina* (Figuras 4B e 4C) reflete um padrão de estresse citotóxico no epitélio intestinal. Investigando compostos iodados similares (como o iohexol e o iopamidol), Santos *et al.,* (2022) observaram que a ingestão crônica dessas moléculas altera drasticamente as microvilosidades do intestino médio de microcrustáceos. Esse acúmulo gera uma disfunção osmótica e celular interna, bloqueando o trânsito alimentar e mimetizando a estagnação intestinal escura evidenciada nas concentrações intermediárias deste experimento. Além disso, conforme mostrado por Silva e Martinez (2024) ao avaliarem poluentes de efluentes hospitalares em organismos aquáticos, a parede intestinal atua como a primeira linha de bioacumulação, sofrendo necrose epitelial precoce induzida pela produção de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs).

Ademais, a dispersão do pigmento ocular observada (Figura 4C) sugere uma ação neurotóxica ou quimiotóxica periférica do contraste radiológico. Avaliando a exposição de estágios larvais de invertebrados a agentes de diagnóstico por imagem, García-Gómez *et al.,* (2021) demonstraram que os MCIs interferem na neurotransmissão e no desenvolvimento de fotorreceptores. Essa neurotoxicidade subletal se manifesta visualmente na perda de simetria e espalhamento da mancha ocular pigmentada, afetando diretamente as respostas de fototaxia que são vitais para a sobrevivência do náuplio.

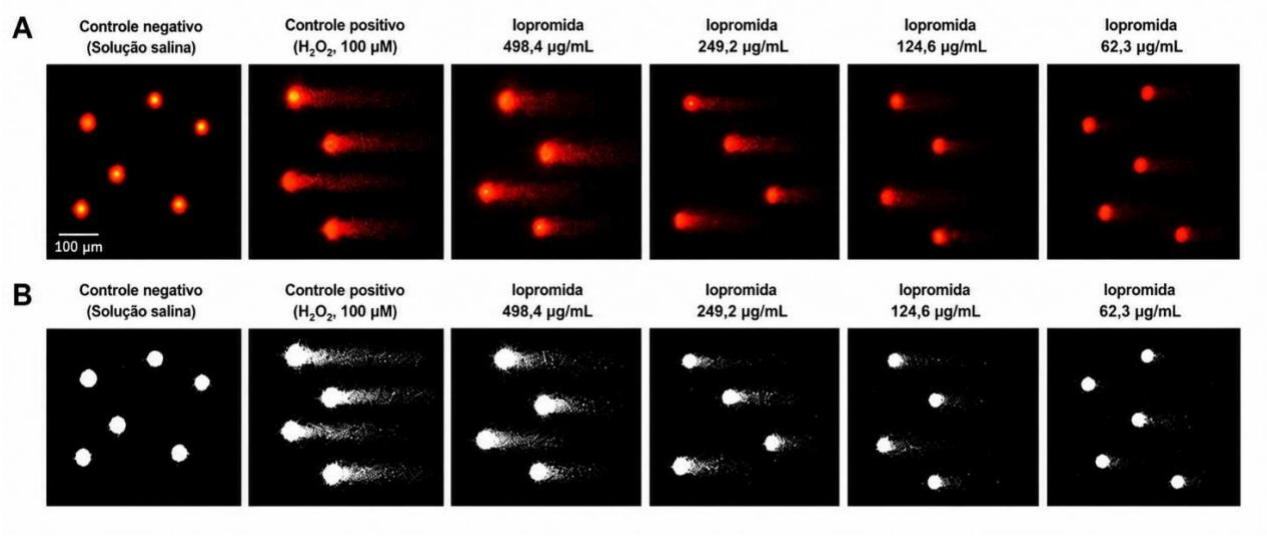
O ápice do efeito tóxico, evidenciado na Figura 4D através da severa atrofia e dismorfia dos apêndices natatórios, demonstra o potencial teratogênico da iopromida em altas concentrações. Esse achado está fortemente alinhado com o estudo de Nguyen *et al.,* (2025), que testaram os efeitos do contraste iodado diatrizoato e do gadoprevist (agente de contraste para ressonância magnética) em modelos de crustáceos estuarinos. Os autores verificaram que doses elevadas desses agentes de imagem rompem o sincronismo do ciclo de muda e inibem os genes responsáveis pela síntese de quitina, resultando em apêndices locomotores curtos, dismórficos e sem cerdas. Essa perda de integridade anatômica impede a natação, impossibilitando a captura de alimentos e gerando mortalidade ecológica indireta.

3.3 Avaliação de danos genotóxicos em náuplios de *Artemia salina* por meio do ensaio

Os náuplios de *Artemia salina* foram selecionados para o ensaio cometa devido à elevada sensibilidade apresentada nos estágios iniciais de desenvolvimento frente à exposição a contaminantes químicos. Além disso, organismos em fase larval possuem intensa atividade metabólica e celular, tornando-os mais suscetíveis a danos em nível molecular e genético. A utilização exclusiva dos náuplios também permite maior padronização experimental, reduzindo interferências relacionadas às diferenças morfofisiológicas observadas em estágios mais avançados de desenvolvimento. Dessa forma, o emprego desse estágio larval torna-se adequado para a detecção precoce de possíveis efeitos genotóxicos induzidos pela iopromida.

As micrografias representativas do ensaio cometa realizadas em náuplios de *Artemia salina* expostos à iopromida estão apresentadas na Figura 5. Observa-se aumento progressivo da migração do DNA conforme a elevação da concentração do contraste radiológico, evidenciado pela formação de "caudas" mais extensas nos nucleoides expostos. Os maiores danos genéticos foram observados nos grupos tratados com 498,4 e 249,2 µg/mL, enquanto os organismos do controle negativo apresentaram DNA íntegro, com ausência ou mínima formação de cauda. O controle positivo (H_2O_2 100 µM) confirmou a sensibilidade do método ao demonstrar intenso padrão de fragmentação do DNA.

Figura 5. Perfis de fragmentação de DNA celular exposto a diferentes concentrações de iopromida (498,4 a 62,3 µg/mL).

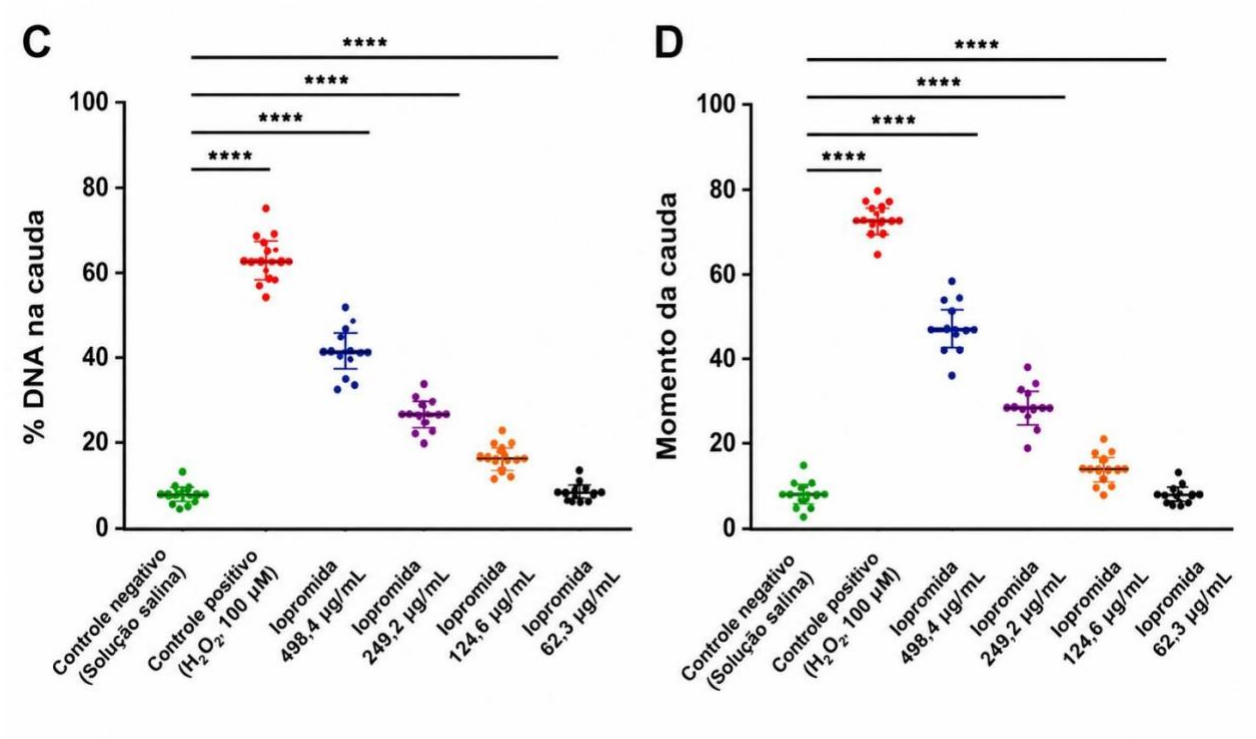


(A) Imagens de microscopia de fluorescência; (B) Imagens processadas em escala de cinzas para análise quantitativa.

A análise quantitativa do ensaio cometa confirmou o potencial genotóxico da iopromida de maneira dose-dependente, conforme exposto nos painéis C e D da Figura 6. O controle negativo apresentou níveis basais reduzidos de dano, com média de aproximadamente 8% para o percentual de DNA na cauda e para o momento da cauda. Em contrapartida, o controle positivo (H_2O_2 µg/mL) exibiu os maiores índices de fragmentação, com o %de DNA na cauda atingindo uma média próxima a 63%.

Entre os grupos tratados, a maior concentração de iopromida (498,4 µg/mL) induziu uma fragmentação severa no DNA, resultando em cerca de 40% de DNA na cauda (Painel C) e um momento da cauda de aproximadamente 48 (Painel D). À medida que a concentração do contraste foi reduzida (249,2 µg/mL e 124,6 µg/mL), observou-se um decréscimo progressivo e linear em ambos os parâmetros biomarcadores. Na menor concentração testada (62,3 µg/mL), os valores retornaram a patamares estatisticamente equivalentes aos do controle basal, sugerindo a ausência de genotoxicidade significativa nesta dose.

Figura 7. Análise quantitativa dos parâmetros de dano ao DNA celular induzidos por diferentes concentrações de iopromida via ensaio cometa.



Os dados estão representados como média ± desvio padrão (DP) de experimentos independentes (n = 15 nucleoides por grupo). A análise estatística foi realizada por meio do teste de Análise de Variância (ANOVA) de uma via, seguido pelo pós-teste de comparação múltipla de Dunnett. Os asteriscos (****) indicam diferença estatística em relação ao controle negativo ($p < 0,0001$).

Os resultados obtidos no ensaio cometa demonstraram que a exposição dos náuplios de *Artemia salina* à iopromida promoveu aumento significativo dos danos ao DNA, evidenciado pelo aumento da porcentagem de DNA na cauda e do momento da cauda em relação ao controle negativo. As micrografias obtidas corroboram esses achados, uma vez que os organismos expostos às maiores concentrações apresentaram cometas mais extensos e com maior dispersão do material genético, indicando fragmentação do DNA e possível ocorrência de quebras de fita simples. Observou-se ainda um padrão concentração-dependente, no qual as maiores concentrações de iopromida resultaram nos maiores índices de dano genético.

O controle positivo contendo H_2O_2 apresentou intensa migração do DNA, confirmando a sensibilidade e adequação metodológica do ensaio para detecção de

danos genotóxicos. A resposta observada para a iopromida, embora inferior ao controle positivo, demonstrou clara elevação dos parâmetros genéticos avaliados quando comparada ao controle negativo, sugerindo potencial genotóxico do contraste radiológico em organismos aquáticos.

Apesar de os meios de contraste iodados serem frequentemente descritos como compostos de baixa toxicidade aguda, estudos recentes demonstram crescente preocupação relacionada aos seus efeitos genéticos e à formação de subprodutos altamente reativos no ambiente aquático (Matsushita *et al.,* 2015). Postigo *et al.,* (2018) relataram que meios de contraste iodados, incluindo a iopromida, podem originar subprodutos iodados com elevado potencial mutagênico após processos de cloração e transformação ambiental. Esses achados reforçam a relevância dos danos observados no presente estudo, especialmente considerando a persistência ambiental da iopromida e sua baixa remoção em estações convencionais de tratamento de água (Redeker et al., 2018; Nowak et al., 2020).

Os resultados encontrados também apresentam semelhança com estudos ecotoxicológicos envolvendo outros contaminantes emergentes avaliados por ensaio cometa em organismos aquáticos. Em pesquisas utilizando *Artemia* exposta a mutágenos de referência, Sukumaran e Grant (2013) observaram aumento significativo da porcentagem de DNA na cauda após exposição ao etilmetanossulfonato, demonstrando que o ensaio cometa é altamente sensível para detecção precoce de danos genéticos em microcrustáceos.

Trabalhos recentes envolvendo contaminantes ambientais também demonstram associação entre aumento do momento da cauda e ocorrência de estresse oxidativo celular. Estudos com microplásticos sintéticos em *Artemia salina* relataram que a exposição contínua promove aumento da produção de espécies reativas de oxigênio, danos oxidativos e alterações fisiológicas relevantes (Das Pramanik *et al.,* 2023). Embora os mecanismos moleculares da iopromida ainda não estejam completamente

esclarecidos em *Artemia salina*, é possível que parte dos danos observados esteja relacionada à indução de estresse oxidativo e comprometimento dos mecanismos celulares de reparo do DNA.

Além disso, estudos recentes destacam que o ensaio cometa representa uma ferramenta extremamente sensível para monitoramento ambiental e avaliação de contaminantes emergentes, especialmente em situações nas quais alterações genéticas precedem efeitos citotóxicos mais severos (Cordelli, 2021; Collins *et al.,* 2023; Gendron *et al.,* 2023)

4. CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo demonstram que a iopromida apresenta potencial ecotoxicológico em *Artemia salina*, promovendo mortalidade, alterações morfoestruturais e danos genotóxicos de forma dependente da concentração e do estágio de desenvolvimento. Náuplios e metanáuplios mostraram-se mais sensíveis em comparação aos organismos adultos, evidenciando maior vulnerabilidade dos estágios iniciais frente à exposição ao contraste radiológico. Além dos efeitos sobre a sobrevivência, o ensaio cometa revelou danos significativos ao DNA, indicando que a iopromida pode induzir efeitos subletais importantes mesmo em concentrações moderadas. As alterações morfológicas observadas reforçam o potencial impacto biológico do composto sobre organismos aquáticos.

Dessa forma, o estudo evidencia que a iopromida não deve ser considerada ambientalmente inerte, ressaltando a necessidade de maior monitoramento ambiental e de investigações adicionais sobre os efeitos ecotoxicológicos de contrastes radiológicos iodados em ecossistemas aquáticos.

CONTRIBUIÇÃO

Conceptualization: GRS, DLA.

Investigation: GRS, JSN, JFS, CRAF, DLA.

Writing – review and editing: GRS, JBSL, EGNS, DLA.

CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores declaram que não existe nenhum tipo de conflito de interesse.

REFERENCIAS

Albarano L, et al. Genotoxicity in Artemia spp.: An old model with new sensitive endpoints. Aquatic Toxicology. 2022;252:106320.

Ates M, Daniels J, Arslan Z, Farah IO. Effects of aqueous suspensions of titanium dioxide nanoparticles on Artemia salina: assessment of nanoparticle aggregation, accumulation, and toxicity. Environ Monit Assess. 2013 Apr;185(4):3339-48. doi: 10.1007/s10661-012-2794-7.

Borowska E, Felis E, Żabczyński S. Degradation of iodinated contrast media in aquatic environment by means of UV, UV/TiO2 process, and by activated sludge. Water Air Soil Pollut. 2015;226:151. doi: 10.1007/s11270-015-2383-9.

Collins A, Møller P, Gajski G, Vodenková S, Abdulwahed A, Anderson D, Bankoglu EE, Bonassi S, Boutet-Robinet E, Brunborg G, Chao C, Cooke MS, Costa C, Costa S, Dhawan A, de Lapuente J, Bo' CD, Dubus J, Dusinska M, Duthie SJ, Yamani NE, Engelward B, Gaivão I, Giovannelli L, Godschalk R, Guilherme S, Gutzkow KB, Habas K, Hernández A, Herrero O, Isidori M, Jha AN, Knasmüller S, Kooter IM, Koppen G, Kruszewski M, Ladeira C, Laffon B, Larramendy M, Hégarat LL, Lewies A, Lewinska A, Liwszyc GE, de Cerain AL, Manjanatha M, Marcos R, Milić M, de Andrade VM, Moretti M, Muruzabal D, Novak M, Oliveira R, Olsen AK, Owiti N, Pacheco M, Pandey AK, Pfuhler S, Pourrut B, Reisinger K, Rojas E, Rundén-Pran E, Sanz-Serrano J, Shaposhnikov S, Sipinen V, Smeets K, Stopper H, Teixeira JP, Valdiglesias V, Valverde M, van Acker F, van Schooten FJ, Vasquez M, Wentzel JF, Wnuk M, Wouters A, Žegura B, Zikmund T, Langie SAS, Azqueta A. Measuring DNA modifications with the comet assay: a compendium of protocols. Nat Protoc. 2023 Mar;18(3):929-989. doi: 10.1038/s41596-022-00754-y.

Cordelli E, Bignami M, Pacchierotti F. Comet assay: a versatile but complex tool in genotoxicity testing. Toxicol Res. 2021 Jan;10(1):68-78. doi: 10.1093/toxres/tfaa093.

Das Pramanik D, Lei S, Kay P, Goycoolea FM. Investigating on the toxicity and bio-magnification potential of synthetic glitters on Artemia salina. Mar Pollut Bull. 2023 May;190:114828. doi: 10.1016/j.marpolbul.2023.114828.

Duirk SE, Lindell C, Cornelison CC, Kormos J, Ternes TA, Attene-Ramos M, Osiol J, Wagner ED, Plewa MJ, Richardson SD. Environmental fate and comparative toxicity of iodinated X-ray contrast media and their disinfection byproducts. Environ Sci Technol. 2011;45(16):6845-6854. doi: 10.1021/es200983f.

Fontoura LP, Puntel R, Pinton S, Silva de Ávila D, Teixeira da Rocha JB, Onofre de Souza D, Roos DH. A toxicological comparison between two uranium compounds in Artemia salina: Artificial seawater containing CaCO3. Mar Environ Res. 2021 Jan;163:105221. doi: 10.1016/j.marenvres.2020.105221.

Garcia-Goméz C, et al. Ecotoxicological impacts of iodinated contrast media on marine and estuarine organisms: Neurotoxicity and phototaxis disruption. Environ Pollut. 2021;285:117126.

Gendron AD, Lacaze É, Taranu ZE, Gouge R, Larbi-Youcef Y, Houde M, André C, Gagné F, Triffault-Bouchet G, Giroux I. The comet assay, a sensitive biomarker of water quality improvement following adoption of beneficial agricultural practices? Environ Toxicol Chem. 2023 Oct;42(10):2201-2214. doi: 10.1002/etc.5711.

JEYAVANI J, et al. Toxicity evaluation of polypropylene microplastic on marine microcrustacean Artemia salina: An analysis of implications and vulnerability. Chemosphere. 2022;296:133990.

Kalčíková G, Zagorc-Končan J, Zgajnar Gotvajn A. Artemia salina acute immobilization test: a possible tool for aquatic ecotoxicity assessment. Water Sci Technol. 2012;66(4):903-908. doi: 10.2166/wst.2012.271.

Lima JM, Silva CA, Rosa MB, Santos JB, Oliveira TG, Silva MB. Prospecção fitoquímica de Sonchus oleraceus e sua toxicidade sobre o microcrustáceo Artemia salina. Planta Daninha. 2009;27(1):7-11. doi: 10.1590/S0100-83582009000100002.

Martín CM, Lorigados CAB, Sendyk-Grunkraut A, Zardo KM, Fonseca-Pinto ACB. Meios de contraste iodado: propriedades físico-químicas e reações adversas. Rev Acad Ciênc Anim. 2014;12(3):215-222.

Matsushita T, Kobayashi N, Hashizuka M, Sakuma H, Kondo T, Matsui Y, Shirasaki N. Changes in mutagenicity and acute toxicity of solutions of iodinated X-ray contrast media during chlorination. Chemosphere. 2015 Sep;135:101-107. doi: 10.1016/j.chemosphere.2015.03.082.

Nguyn TH, et al. Teratogenic effects and chitin synthesis inhibition in estuarine crustaceans exposed to high doses of radiological contrast agents. Aquat Toxicol. 2025;268:107118.

Nowak A, Pacek G, Mrozik A. Transformation and ecotoxicological effects of iodinated X-ray contrast media. Rev Environ Sci Biotechnol. 2020;19:337-354. doi: 10.1007/s11157-020-09534-0.

Nunes BS, et al. Use of the genus Artemia in ecotoxicity testing. Environ Pollut. 2006;144(2):453-462.

Pacheco GKN, et al. Short exposure of Artemia salina to group-12 metals: Comparing hatchability, mortality, lipid peroxidation, and swimming speed. Ecotoxicol Environ Saf. 2021;213:112052.

Pecoraro R, Scalisi EM, Messina G, Fragalà G, Ignoto S, Salvaggio A, Zimbone M, Impellizzeri G, Brundo MV. Artemia salina: A microcrustacean to assess engineered nanoparticles toxicity. Microsc Res Tech. 2021 Mar;84(3):531-536. doi: 10.1002/jemt.23609.

Pires VL, et al. Evaluation of multivariate biomarker indexes application in ecotoxicity tests with marine diatoms exposed to emerging contaminants. Appl Sci. 2021;11(9):3878.

Postigo C, DeMarini DM, Armstrong MD, Liberatore HK, Lamann K, Kimura SY, Cuthbertson AA, Warren SH, Richardson SD, McDonald T, Sey YM, Ackerson NOB, Duirk SE, Simmons JE. Chlorination of source water containing iodinated X-ray contrast media: Mutagenicity and identification of new iodinated disinfection byproducts. Environ Sci Technol. 2018 Nov 20;52(22):13047-13056. doi: 10.1021/acs.est.8b04625.

Redeker M, et al. Anaerobic transformation of the iodinated X-ray contrast medium iopromide, its aerobic transformation products, and transfer to further iodinated X-ray contrast media. Environ Sci Technol. 2018;52(15):8309-8320.

Santos LHMLM, et al. Evaluation of the ecotoxicological effects of iohexol and iopamidol on the digestive tract and life-history traits of aquatic microcrustaceans. Chemosphere. 2022;301:134145.

Silva BF, MARTINEZ CBR. Hospital effluent pollutants and oxidative stress: Cytotoxic mechanisms in the digestive epithelium of non-target aquatic organisms. Ecotoxicol Environ Saf. 2024;270:115127.

SUKUMARAN S, Grant A. Differential responses of sexual and asexual Artemia to genotoxicity by a reference mutagen: Is the comet assay a reliable predictor of population level responses? Ecotoxicol Environ Saf. 2013;91:110-116.

Vitorino HA, Mantovanelli L, Zanotto FP, Espósito BP. Iron metallodrugs: Stability, redox activity and toxicity against Artemia salina. PLoS One. 2015;10(4):e0121997. doi: 10.1371/journal.pone.0121997.

Wrzesińska K, Kwiatkowski M, Terebun P, Zarzeczny D, Sumara A, Murakami T, Hayashi N, Krcma F, Benova E, Hensel K, Machala Z, Fornal E, Pawłat J. Iodinated contrast media—From clinical use to environmental concern and treatment possibilities. Molecules. 2026;31(3):551. doi: 10.3390/molecules31030551.

Xu X, et al. Toxic assessment of triclosan and triclocarban on Artemia salina. Bull Environ Contam Toxicol. 2015;95(6):728-733.

LICENSE

This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give

appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third-party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material.
To view a copy of this license, visit http://creativecommons.org/ licenses/by/4.0/.