



## FITOTOXICIDADE DO HERBICIDA ATRAZINA ENCAPSULADA EM NANOPARTÍCULAS DE ZEÍNA E O RISCO ECOTOXICOLÓGICO PARA A BIOTA AQUÁTICA.

Beatriz da Silva **Xavier**<sup>1</sup>; Mara Denise Luck **Mendes**<sup>2</sup>; José Henrique **Vallim**<sup>3</sup>; Vera Lucia S. S. de **Castro**<sup>4</sup>; Claudio Martín **Jonsson**<sup>5</sup>

**Nº 23403**

**RESUMO** - A atrazina (ATZ) é um agroquímico utilizado em grande escala no controle de ervas daninhas. A nanotecnologia tem sido usada no encapsulamento de herbicidas com a finalidade aumentar a sua atividade e diminuir impactos ambientais. A macrófita aquática *Lemna minor* tem sido utilizada como organismo-teste modelo para avaliar os efeitos tóxicos de herbicidas. Avaliou-se a fitotoxicidade da atrazina encapsulada em nanopartículas de zeína (ATZ-NPZ) frente à fitotoxicidade do herbicida contido em formulação comercial. Posteriormente, avaliou-se o risco ecotoxicológico da nanoformulação para a biota aquática usando organismos de diferentes níveis tróficos. A concentração efetiva média que causa efeito inibitório em 50% referente ao crescimento de *L. minor* (CE50-168 h), e intervalos de confiança 95%, foi determinada para a ATZ e ATZ-NPZ. Registraram-se valores de 0,53 (0,26 – 0,86) mg/L e 2,26 (1,83 – 2,88) mg/L, respectivamente. A concentração hipotética de risco para somente 5% das espécies de uma comunidade representante do sistema aquático e sua zona de transição com o solo (HC5) foi determinada para ATZ-NPZ. Calculou-se um valor de HC5 equivalente a 0,079 mg/L, o que não demonstra um aumento do risco ecotoxicológico para a biota aquática por parte ATZ-NPZ em relação a ATZ. Conclui-se que ocorreu uma diminuição da fitotoxicidade para *L. minor* quando o herbicida é veiculado em nanopartículas de zeína. De acordo com o valor de HC5 determinado, a nanoformulação de ATZ sugere um menor risco ambiental em relação à ATZ contida em formulação comercial, o que representa uma vantagem quanto ao seu potencial uso na agricultura.

**Palavras-chaves:** Ecotoxicologia, Nanoatrazina, Toxicidade, Bioindicador, Risco ambiental, Planta Aquática

<sup>1</sup> Autor: Bolsista CNPq (PIBIC), Graduação em Ciências Biológicas, FHO, Araras-SP; beatrizsx.xavier@gmail.com

<sup>2</sup> Colaborador: Técnico, Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP.

<sup>3</sup> Colaborador: Analista, Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP.

<sup>4</sup> Colaborador: Pesquisadora, Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP.

<sup>5</sup> Orientador: Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP; claudio.jonsson@embrapa.br



**ABSTRACT** - Atrazine (ATZ) is an agrochemical widely used in weed control. Nanotechnology has been used in the encapsulation of herbicides in order to increase their activity and reduce environmental impacts. The aquatic macrophyte *Lemna minor* has been used as model test-organism to evaluate the toxic effects of herbicides. The phytotoxicity of atrazine encapsulated in zein nanoparticles (ATZ-NPZ) was evaluated against the phytotoxicity of the herbicide contained in a commercial formulation. Subsequently, the ecotoxicological risk of the nanoformulation for the aquatic biota was evaluated using organisms from different trophic levels. The mean effective concentration causing a 50% inhibitory effect on *L. minor* growth (EC50-168 h), and 95% confidence intervals, were determined for ATZ and ATZ-NPZ. Values of 0.53 (0.26 – 0.86) mg/L and 2.26 (1.83 – 2.88) mg/L were recorded, respectively. The hypothetical risk concentration for only 5% of the species of a representative community of the aquatic system and its transition zone with the soil (HC5) was determined for ATZ-NPZ. An HC5 value equivalent to 0.079 mg/L was calculated, which does not demonstrate an increase in the ecotoxicological risk for the aquatic biota by ATZ-NPZ in relation to ATZ. It is concluded that there was a decrease in phytotoxicity for *L. minor* when the herbicide is carried in zein nanoparticles. Due to the determined HC5 value, the ATZ nanoformulation suggests a lower environmental risk compared to the ATZ contained in a commercial formulation, which represents an advantage regarding its potential use in agriculture.

**Keywords:** Ecotoxicology, Nanoatrazine, Toxicity, Bioindicator, Environmental Risk, Aquatic Plant.

## 1. INTRODUÇÃO

A atrazina (2-cloro-4-etilamino-6-isopropilamino- s –triazina; Figura 1) é um herbicida pre-emergente e pós-emergente pertencente ao grupo das triazinas e utilizado em grande escala no país no controle de ervas daninhas de culturas de milho, cana-de-açúcar e sorgo (AGROADVANCE, 2023). É eficiente no controle de *Acanthospermum hispidum*; *Amaranthus*

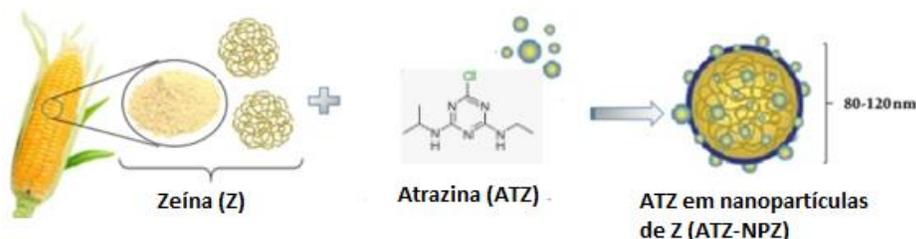


*hybridus*; *Bidens pilosa*; *Brachiaria plantaginea*; *Cyperus sesquiflorus*; *Desmodium tortuosum*; *Digitaria horizontalis*; *Melampodium divaricatum*, entre outras (NORTOX, 2023), atuando na inibição do fotossistema II como mecanismo de ação (ZHU, 2009).

Segundo dados do último relatório publicado pelo IBAMA em 2021, das cinco moléculas mais comercializadas no país no ano de 2020, três pertencem à classe dos herbicidas, uma à classe dos fungicidas e uma à classe dos inseticidas. A atrazina permaneceu no 4º lugar com a venda 33.231 toneladas de ingrediente ativo (AGROADVANCE, 2023).

A nanotecnologia é um ramo da ciência que estuda e constrói materiais em uma escala nanométrica, e tem sido usada no encapsulamento de herbicidas com a finalidade aumentar a sua atividade e diminuir impactos ambientais. O aumento da atividade herbicida está associado a uma proteção do princípio ativo contra a degradação físico-química, liberação prolongada do mesmo e eficiente adesão das partículas na superfície do organismo-alvo (FORINI et al. 2022). Dessa forma, o produto é mais eficientemente utilizado no controle de pragas, propiciando o uso de menor quantidade do ingrediente ativo na planta e no solo. (CROPLIFE, 2023).

A zeína é uma proteína extraída do milho, usada como base para micro encapsulamento de compostos (Figura 1), aumentando sua solubilidade e prolongando sua liberação (FREITAS, 2016).



**Figura 1.** Nanoencapsulamento de moléculas de atrazina em nanopartículas de zeína. Fonte: adaptado de Heidary et al. (2021).

A macrofita aquática *Lemna minor* (Figura 2) tem sido utilizada como organismo-teste modelo para avaliar os efeitos tóxicos de herbicidas pelo fato de ser um organismo com cultivo relativamente fácil em laboratório, possuir crescimento rápido e alta sensibilidade aos herbicidas que interrompem as vias da fotossíntese (ALIFERIS et al., 2009).



**Figura 2.** *Lemna minor*. Fonte: Acervo do Laboratório de Aquicultura e Ecotoxicologia / Embrapa Meio Ambiente

Sendo os herbicidas passíveis de ingressar no compartimento aquático, organismos bioindicadores têm sido usados como modelos experimentais em testes de ecotoxicidade para a avaliação de risco e estabelecimento de concentrações máximas permissíveis nos compartimentos ambientais (NORMAN, 2023).

O objetivo da primeira etapa, do presente trabalho, foi avaliar em termos comparativos a fitotoxicidade da atrazina encapsulada em nanopartículas de zeína frente à fitotoxicidade do herbicida em uma formulação comercial utilizando a macrofita *L. minor* como organismo-teste. O objetivo da segunda etapa do trabalho foi avaliar o risco ecotoxicológico para a biota aquática do herbicida nanoformulado usando organismos bioindicadores de diferentes níveis tróficos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Material-teste

Utilizou-se uma formulação comercial (suspensão concentrada) de atrazina (ATZ) contendo 500 g/L de ingrediente ativo e uma suspensão de atrazina encapsulada em nanopartículas de zeína (ATZ-NPZ) fornecida pelo laboratório do Instituto de Ciência e Tecnologia da Unesp (Campus Sorocaba).



## 2.2. Avaliação da fitotoxicidade para *Lemna minor*

As culturas de *Lemna minor* usadas no experimento foram obtidas por cultivo em meio NPK ( $\text{CH}_4\text{NO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) (SIPAUBA-TAVARES; PEREIRA, 2008) e os ensaios foram realizados por 168 h a  $24 \pm 2$  °C, sob constante iluminação aproximada de 700 lux.

As plântulas foram expostas em placas de poliestireno de 12 poços, sendo 2 frondes em 5 mL de solução teste por poço, com 24 repetições para cada concentração-teste: 0,0; 0,01; 0,1; 1; 10 e 100 mg/L de ATZ ou ATZ-NPZ. Para avaliar o crescimento das macrófitas foram feitas contagens diárias do número de frondes.

Após o período de exposição foram determinados os valores de CE50 – 168h (concentração efetiva média que causa efeito inibitório em 50% referente ao crescimento), assim como os intervalos de confiança a nível de 95% de certeza. Para isto, utilizou-se o módulo de “Regressão Simples” do programa estatístico Statgraphics Centurion XVII, versão 1. 17. 04 (StatPoint Technologies). Os valores de concentração do material-teste foram transformados em “Log (concentração + 1)”. Esta transformação é usada para um conjunto de dados de dose-resposta em que a dose está em escala exponencial com uma concentração de dose no controle equivalente a zero (ON BIOSTATISTICS AND CLINICAL TRIALS, 2012). Diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) dos valores de CE50-168h foram fundamentadas na ausência de sobreposição dos intervalos de confiança a nível 83% (ALSTON et al., 2005).

## 2.3. Determinação da concentração de ATZ-NPZ de baixo risco

A concentração hipotética de risco para somente 5% das espécies de uma comunidade representante do sistema aquático e sua zona de transição com o solo (HC5) é comumente usada como base para a avaliação de risco ambiental de agentes poluentes e como indicadora da concentração que protege suficientemente os ecossistemas.

De acordo com as metodologias descritas por Castro et al. (2022; 2018), foi determinada a concentração de efeito não observado (CENO) para organismos-teste de vários níveis tróficos (*Raphidocelis subcapitata*, *Lemna minor*, *Daphnia magna*, *Artemia salina*, *Lactuca sativa* e *Danio rerio*). Os valores de CENO para cada espécie foram utilizados para calcular a HC5.

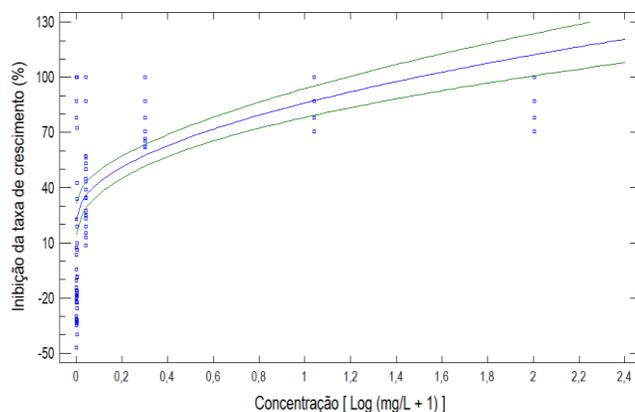
Segundo o critério da “Distribuição da Sensibilidade das Espécies”, a HC5 foi calculada



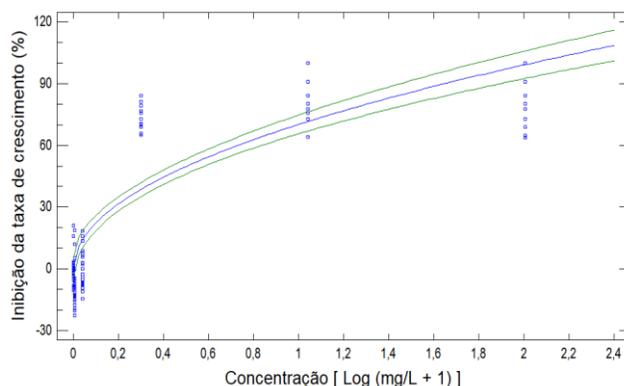
numa distribuição log-logística dos valores de CENO (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 1995) utilizando o programa Statgraphics Centurion XVII, versão 1. 17. 04 (StatPoint Technologies). A distribuição de normalidade dos valores de CENO foi previamente analisada através do teste Kolmogorov-Smirnov contido no mesmo programa.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efeito da ATZ e da ATZ-NPZ, sob a taxa de crescimento da planta *L. minor*, foi avaliado ao longo dos 7 dias através da contagem do número de frondes. Como era de se esperar, houve uma correlação negativa entre o número de frondes e as concentrações dos compostos-teste. Os resultados sobre este decréscimo da taxa de crescimento em função da concentração estão apresentados na Figura 3 e Figura 4.



**Figura 3.** Efeito da ATZ sobre o crescimento (número de frondes) de *Lemna minor* decorrente da exposição por 168 horas. □ curva da regressão; □ curvas de intervalo de confiança 95%.



**Figura 4.** Efeito da ATZ-NPZ sobre o crescimento (número de frondes) de *Lemna minor* decorrente da exposição por 168 horas. □ curva da regressão; ▭ curvas de intervalo de confiança 95%.

A CE50-168 h e intervalos de confiança 95% foi determinada para a ATZ e ATZ-NPZ registrando-se valores de 0,53 (0,26 – 0,86) mg/L e 2,26 (1,83 – 2,88) mg/L, respectivamente. Valor de CE50 para ATZ em *L. minor* equivalente a 0,22 (0,18 – 0,30) mg/L, ou seja, muito próximo ao determinado no presente trabalho, foi relatado por Park et al. (2017). Um valor de 0,5 mg/L foi também relatado para a triazina simazina (KUMAR; HAN, 2010) em *Lemna sp.* Klementova et al. (2019) determinaram um valor de CE50-168h para a atrazina (padrão HPLC) equivalente a 0,13 mg/L para *L. minor*, valor este de semelhante ordem de grandeza do determinado no presente trabalho. Uma redução de aproximadamente 50% do número de frondes em relação ao controle (0,0 mg/L) foi constatada na concentração de atrazina (em formulação comercial de grânulos dispersáveis) de 0,12 mg/L (HERRERA et al., 2023).

Assim, como relatado por outros autores, nossos resultados demonstram que a nanoformulação do herbicida apresentou menor toxicidade (aproximadamente 4 vezes) que a do composto não nanoformulado. Esta diferença de toxicidade foi estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ).

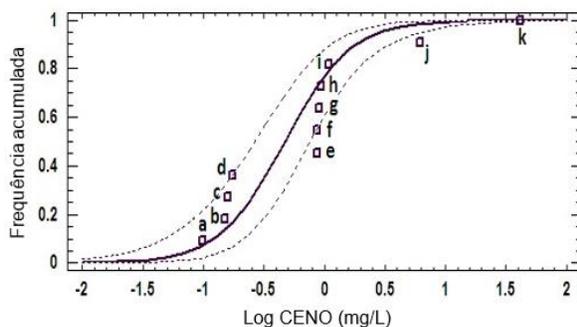
Os resultados do presente trabalho corroboram com a menor toxicidade, para microalgas clorofíceas, apresentada pelos herbicidas atrazina e ametrina quando contidos em nanocapsulas de poli (épsilon-caprolactona) (CLEMENTE et al., 2014). Este tipo de formulação, quando realizada com os herbicidas atrazina, ametrina e simazina, diminuiu os efeitos fitotóxicos para *Allium cepa* (GRILLO et al., 2012).



Em analogia ao presente trabalho, LUIS et al. (2020) observaram que compostos com propriedades bactericidas tiveram a toxicidade diminuída para o microcrustáceo *Artemia salina* quando encapsulados em zeína.

Nanoformulações de herbicidas à base de zeína tem demonstrado a mesma eficiência agrônômica que formulações comerciais, mas com a utilização de menores doses (HEYDARI et al., 2021). Este fato, aliada à redução de toxicidade apresentada por ATZ-NPZ para *L. minor*, direcionou o trabalho a determinação uma concentração de baixo risco de ATZ-NPZ para o compartimento aquático. Assim, na Figura 5 é demonstrada a função logística da sensibilidade acumulada de acordo com os valores de CENO para diferentes espécies associadas ao ambiente aquático. As microalgas e macrófitas aquáticas foram os organismos mais sensíveis com os menores valores de CENO. Isto pode ser explicado pelo fato de que estes organismos possuem grande dependência de mecanismos de fotossíntese, os quais são o alvo principal do herbicida estudado. A atrazina inibe a fotossíntese associando-se competitivamente com o sítio de ligação da plastoquinona B (QB) da proteína D1 (subunidade do fotossistema II) e, portanto, bloqueia o fluxo de elétrons do cloroplasto da plastoquinona A para a plastoquinona QB, reduzindo muito a produção de ATP, nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato (NADPH) e fixação de CO<sub>2</sub> (ZHU, 2009).

A variabilidade de sensibilidade para diferentes (Figura 5) espécies gerou diferentes valores de CENO que permitiram calcular um valor de HC5 equivalente a 0,079 mg/L (intervalo de confiança 95% = 0,025 – 0,126 mg/L).



**Figura 5.** Curva de distribuição da sensibilidade de acordo com os valores de ATZ NPZ para os organismos-teste: a- microalga *Raphidocelis subcapitata* (crescimento); b- macrofita *Lemna minor* (número de frondes); c macrofita *Lemna minor* (peso úmido ); d macrofita *Lemna minor* (clorofila); e- microcrustaceo *Daphnia magna* (crescimento corpóreo); f- micrcrustaceo *Daphnia magna* (imobilidade); g- peixe *Danio rerio* (mortalidade do embrião); h- semente de *Lactuca sativa* (alongamento da raiz); i-



microcrustaceo *Artemia salina* (crescimento corpóreo); *j*- microcrustaceo *Artemia salina* (imobilidade); *k*- semente de *Lactuca sativa* (germinação da semente). --- intervalo de confiança 95%. HC5 = 0,079 (0,025 – 0,126) mg L<sup>-1</sup>.

Segundo Vonk e Kraak (2020), valores de ATZ HC5 foram calculados para produtores primários na faixa de 0,0069 – 0,032 mg/L. Para este herbicida, também foi calculado um valor equivalente a 0,003 mg/L para algas e macrófitas (SOLOMON et al., 2008). Tulcan et al. (2021) determinaram um o valor de HC5 para ATZ de 0,0035 mg L<sup>-1</sup> (intervalo de confiança 0,001 – 0,011 mg/L) para espécies de algas, crustáceos, peixes e moluscos. De acordo com Hennig et al. (2023), os valores de HC5 para ATZ variam entre 0,0014 e 0,028 mg/L.

Portanto, observa-se que o valor de HC5 calculado para ATZ-NPZ no presente trabalho foi superior ou semelhante ao descrito pela literatura para ATZ, o que sugere que não ocorre um aumento do risco ecotoxicológico para a biota aquática por parte do primeiro. Isto provavelmente ocorreria devido ao encapsulamento do herbicida nas nanopartículas da proteína, o que dificultaria sua interação com os sistemas biológicos.

#### 4. CONCLUSÃO

Os valores de concentração efetiva média de ATZ em formulação comercial, associada ao crescimento de *L. minor*, foi semelhante ou muito próximo do relatado na literatura. Ocorreu uma diminuição da fitotoxicidade para este organismo-teste quando veiculado em nano partículas de zeína.

A determinação de um valor de parâmetro de risco (HC5) para o ambiente aquático realizado com organismos de diferentes níveis tróficos auxilia para o estabelecimento de uma concentração máxima permissível em corpos de água associada ao uso de ATZ-NPZ. O herbicida, nesta nanoformulação, sugere um menor risco em relação à ATZ contida em formulação comercial, o que representa uma vantagem quanto ao seu potencial uso na agricultura.



## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão da bolsa de iniciação científica para a primeira autora, à Embrapa Meio Ambiente pela disponibilização de recursos e oportunidade de desenvolvimento da pesquisa, aos colaboradores da unidade e ao Instituto de Ciência e Tecnologia da Unesp (Campus Sorocaba) pelo fornecimento do nanomaterial utilizado nos testes toxicológicos.

## 6. REFERÊNCIAS

- AGROADVANCE. **Defensivos agrícolas**: cinco moléculas mais comercializadas no Brasil em 2020. Disponível em: <<https://agroadvance.com.br/cinco-defensivos-agricolas-mais-comercializados/>>. Acesso em 18 maio 2023.
- ALIFERIS, K. A. et al. *Lemna minor* L. as a model organism for ecotoxicological studies performing <sup>1</sup>H NMR fingerprinting. **Chemosphere**, v. 76, p. 967-973, 2009.
- ALSTON, D. G. et al. Evaluation of novel fungal and nematode isolates for control of *Conotrachelus nenuphar* (Coleoptera: Curculionidae) larvae. **Biological Control**, v. 35, p. 163–171, 2005.
- CASTRO, V. L. et al. Estimates of AgNP toxicity thresholds in support of environmental safety policies. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 24, n. 9, p. 1-20, 2022.
- CASTRO, V. L. et al. Nanoecotoxicity assessment of graphene oxide and its relationship with humic acid. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.37, n.7, p. 1998-2012, 2018.
- CLEMENTE, Z. et al. Ecotoxicological Evaluation of Poly(ε-Caprolactone) Nanocapsules Containing Triazine Herbicides. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology**, v. 14, p. 4911-4917, 2014.
- CROPLIFE. **Nanotecnologia potencializa a ação dos defensivos agrícolas**. Disponível em: <<https://croplifebrasil.org/noticias/nanotecnologia-potencializa-a-acao-dos-defensivos-agricolas/#:~:text=O%20Brasil%20avan>>. Acesso em: 17 maio 2023.
- FORINI, M. M. L. et al. Nano-enabled weed management in agriculture: From strategic design to enhanced herbicidal activity. **Plant Nano Biology**, v. 1, 100008, 2022.
- FREITAS, D. Z. **Nanopartículas de zeína e quitosana contendo óleo essencial de *Ocimum gratissimum* L. quimiotipos eugenol e geraniol**. 2016. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- GRILLO, R. et al. Poly(ε-caprolactone) nanocapsules as carrier systems for herbicides: Physico-chemical characterization and genotoxicity evaluation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 231–232, p. 1-9, 2012.
- HENNIG T. B. et al. A systematic review of the toxic effects of a nanopesticide on non-target organisms: estimation of protective concentrations using a species sensitivity distribution (SSD) approach - the case



of atrazine. **Science of the Total Environment**, v. 871, p.162094, 2023.

HERRERA, J. M. et al. A. Toxicity of difenoconazole and atrazine and their photodegradation products on aquatic biota: environmental implications in countries lacking good agricultural practices. **Toxics**, v. 11, n.3, p. 213, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxics11030213>

Formatado: Português (Brasil)

Formatado: Português (Brasil)

HEYDARI, M et al. Plant-based nanoparticles prepared from protein containing tribenuron-methyl: fabrication, characterization, and application. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 8, p. 53, 2021.

KLEMENTOVA, S. et al. Toxicity of atrazine and the products of its homogeneous photocatalytic degradation on the aquatic organisms *Lemna minor* and *Daphnia magna*. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 27259–27267, 2019.

KUMAR, K. S.; HAN, T. Physiological response of Lemna species to herbicides and its probable use in toxicity testing. **Toxicology and Environmental Health Science**. v. 2, n. 1, p. 39-49, 2010.

LUIS, A. I. S. et al. Zein nanoparticles impregnated with eugenol and garlic essential oils for treating fish pathogens. **ACS Omega**, v. 5, p. 15557–15566, 2020.

NORMAN. Oekotoxzentrum Centre Ecotox. **Deriving environmental quality standards for chemical sub-stances in surface waters**. Disponível em: <<https://www.norman-network.com/nds/ecotox/docs/Fact-sheet-EQS-Derivation.pdf>>. Acesso em: 17 maio 2023.

NORTOX. **Atrazina Nortox 500 SC**: Registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA sob nº 00596. Disponível em: <[https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos\\_restritos/files/documento/2023-01/atrazinanortox500sc.pdf](https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2023-01/atrazinanortox500sc.pdf)> . Acesso em : 18 maio 2023.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Guidance document for aquatic effects assessment**. Paris: OECD, 1995. (Environment Monographs, 92).

ON BIOSTATISTICS AND CLINICAL TRIALS. **Log(X+1) data transformation**. May 20, 2012. Disponível em: <<http://onbiostatistics.blogspot.com/2012/05/logx1-data-transformation.html>>. Acesso em: 17 maio 2023

PARK, J. et al. Comparing the acute sensitivity of growth and photosynthetic endpoints in three Lemna species exposed to four herbicides. **Environmental Pollution**, v. 220, Part B, p. 818-827, 2017.

SIPAUBA-TAVARES, L. H.; PEREIRA, A. M. L. Cultivo em large escala de *Ankistrodesmus gracilis* (Reisch) Korsikov (Chlorophyta) and *Diaphanosoma birgei* Korinek, 1981 (Cladocera) em laboratório. **Brazilian Journal of Biology**, v. 68, n. 4, p. 875-883, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000400025>

SOLOMON, K. R. et al. (ed.). **Extrapolation practice for ecotoxicological effect characterization of chemicals**. Pensacola: SETAC Press, 2008. p. 198.

TULCAN, R. X. S. et al. Typical herbicide residues, trophic transfer, bioconcentration, and health risk of marine organisms. **Environment International**, v. 152, p. 106500, 2021.

VONK, J. A.; KRAAK, M. H. S. Herbicide exposure and toxicity to aquatic primary reducers. **Reviews of**



17º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2023  
29, 30 e 31 de agosto de 2023  
ISSN: 2965-2812

**Environmental Contamination and Toxicology**, v. 250, p. 119-171, 2020.

ZHU, J. et al. Effects of photosystem-II- interfering herbicides atrazine and bentazon on the soybean transcriptome. **The Plant Genome**, v. 2, n. 2, p. 191-205, 2009.