

## **Estudo *in silico* do potencial de contaminação ambiental por pesticidas piretroides**

**Eliane Braga Ribeiro<sup>1</sup>; José Aparecido Granato<sup>2</sup>; Marcelo dos Santos Targa<sup>2</sup>; Gilvanda Silva Nunes<sup>1,2\*</sup>**

<sup>1</sup> Programa de Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal, Bionorte, Universidade Federal do Maranhão, Av. Portugueses, s/n, Campus do Bacanga, CEP 65080-040, São Luís, MA, Brasil

<sup>2</sup> Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Departamento de Ciências Agrárias, Universidade de Taubaté, Estrada Municipal Dr. José Luiz Cembranelli, 5.000 Bairro do Itaim - CEP 12081-010, Taubaté, SP, Brasil

e-mail: elianeribeiro.biologa@gmail.com; cesargranato28@hotmail.com; mtarga@unitau.br

\*Autor correspondente: e-mail: nunes.gilvanda@unitau.br

### **RESUMO**

Apesar dos benefícios para a agricultura moderna, no que se refere à redução de pragas e ao aumento da produção mundial de alimentos, o uso de pesticidas tem gerado diversos transtornos e problemas ambientais. Por essa razão, é importante conhecer o comportamento ambiental e o destino dos princípios ativos corriqueiramente empregados na proteção das lavouras. No presente estudo, nove inseticidas piretroides foram avaliados, mediante aplicação dos critérios do método GOSS para avaliação do risco de contaminação de águas superficiais e os critérios do índice de GUS - *Groundwater Ubiquity Score*, para análise do risco de contaminação de águas subterrâneas. Os resultados indicaram que os compostos selecionados podem se fixar principalmente às partículas do solo e do sedimento e, através do escoamento superficial, podem atingir o meio aquático. Uma vez nesse ambiente, podem depositar-se na região de fundo, entrar em contato com as espécies bentônicas e assim promover um paulatino processo de bioacumulação, colocando em risco não só tais organismos, como também a saúde humana, seja pela alimentação, seja pelo consumo da água contaminada.

**Palavras-chave:** pesticidas piretroides; destino, comportamento ambiental, métodos GUS e GOSS.

### **In silico study of the potential for environmental contamination by pyrethroid pesticides**

#### **ABSTRACT**

Despite the benefits for modern agriculture, in terms of reducing pests and increasing world food production, the use of pesticides has generated several inconveniences and environmental problems. For this reason, it is important to know the environmental performance and the destination of the active principles commonly used in the protection of crops. In the present study, nine pyrethroid insecticides were evaluated by applying the criteria of the GOSS method for assessing the risk of contamination of surface water and the criteria of the GUS index - *Groundwater Ubiquity Score*, for analyzing the risk of

contamination of groundwater. The results indicated that the selected compounds can bind mainly to soil and sediment particles and, through surface runoff, can reach the aquatic environment. Once in this environment, they can be deposited in the bottom region, come into contact with benthic species and thus promote a gradual process of bioaccumulation, putting not only such organisms at risk, but also human health, either through food or through the consumption of contaminated water.

**Keywords:** pyrethroid pesticides; fate, environmental behavior, GUS and GOSS methods.

## 1. INTRODUÇÃO

O lançamento de poluentes no ambiente é um dos principais problemas geradores de degradação dos ecossistemas. Tais contaminantes são provenientes das atividades antrópicas, que tem avançado de forma preocupante sobre o ambiente natural, afetando a biota e contaminando os compartimentos ambientais, tais como: o ar, o solo, as águas superficiais e subterrâneas (Chrustek *et al.*, 2018; Tang *et al.*, 2018).

Dentre as substâncias que provocam poluição ambiental estão os pesticidas. Conforme o aspecto a ser ressaltado, podem receber diferentes denominações, como defensivos agrícolas, evidenciando a sua ação protetiva ao plantio; ou agrotóxico, destacando o seu aspecto tóxico quando aplicado (Alves e Oliveira-Silva, 2003; Mendes *et al.*, 2019). Estes compostos químicos são comumente utilizados no ambiente doméstico e em atividades agropecuárias. Na agricultura moderna, os pesticidas têm uma relevante função no que se refere ao aumento da produção mundial de alimentos e redução de plantas daninhas e pragas, em meio às culturas (Abouzienna e Haggag, 2016; Bittencourt-Junior e Soares, 2013).

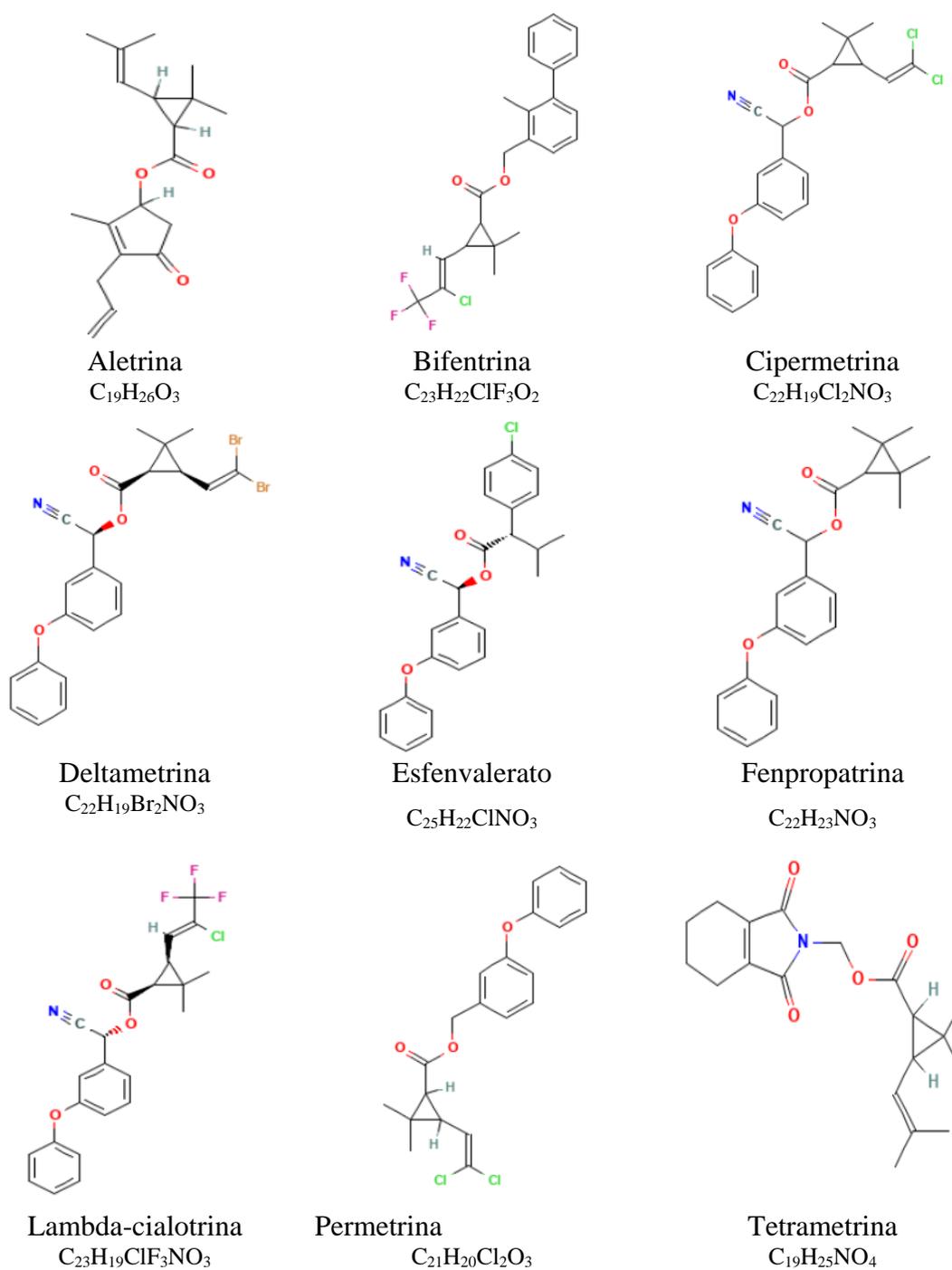
Assegurar a produção de alimentos em quantidade e qualidade adequada para uma população em crescente expansão, sem provocar impactos ambientais, constitui-se um grande desafio para as práticas agrícolas (Nascimento e Melnyk, 2016). Sobretudo no Brasil, conforme Cassal *et al.* (2014) em 2002, foram disponibilizados para o agricultor brasileiro 2.011 produtos formulados com registro no Ministério da Agricultura, sendo 655 herbicidas, 556 inseticidas, 259 acaricidas e 58 nematicidas. De acordo com dados deste Ministério em 2020 houve o registro de mais 493 formulações de agrotóxicos, sendo a maioria baseados em formulações já existentes. Esse quantitativo é 4% superior ao ano de 2019, quando foram liberados outros 474 pesticidas. Estes produtos envolvem uma grande variedade de substâncias químicas com distintos grupos funcionais e modos de ação, biotransformação e eliminação. As classes químicas são compostas por organoclorados, carbamatos, organofosforados, piretroides, derivados de uréia, biperidílios e nitrocompostos, de forma que muitas dessas substâncias podem ocasionar riscos à saúde e ao meio ambiente (Galli *et al.*, 2006; Mendes *et al.*, 2019).

Diversos estudos relatam que o crescente uso de pesticidas tem gerado uma série de transtornos e modificações para o meio ambiente, tanto pela contaminação das comunidades de seres vivos que o compõe, quanto pela sua acumulação nos segmentos ecossistêmicos (Cassal *et al.*, 2014; Maroni *et al.*, 2000; Nascimento e Melnyk, 2016). Com isso observa-se a necessidade de se estudar o comportamento dos agrotóxicos nos compartimentos ambientais, sobretudo dos piretroides, que compõem o grupo de pesticidas bastante utilizado na atividade agrícola e são amplamente aplicados em propriedades residenciais e comerciais (EPA, 2020; Montanha e Pimpão, 2012; Tang *et al.*, 2018).

O presente trabalho objetivou realizar uma avaliação *in silico* do potencial de contaminação de águas superficiais e subterrâneas, bem como dos sedimentos, de nove pesticidas piretroides mais comumente utilizados na agricultura brasileira.

## 2. MATERIAL E MÉTODO

As estruturas químicas dos nove pesticidas piretroides (princípios ativos) avaliados no presente estudo encontram-se na Figura 1.



**Figura 1.** Estrutura química dos inseticidas piretroides analisados.

Fonte: Os autores (elaborado a partir de *Pubchem*).

Foram aplicados os critérios do método de Goss (1992) para avaliação do risco de contaminação de águas superficiais e os critérios do índice de GUS - *Groundwater Ubiquity Score* (Gustafson, 1989), para análise do risco de contaminação de águas subterrâneas. No método de Goss, são propostos critérios físico-químicos para cada contaminante, cujos valores são apresentados em intervalos matemáticos, o que resulta na classificação dos ingredientes ativos dos pesticidas conforme o potencial de contaminação associado ao sedimento ou dissolvido em água (Tabela 1).

**Tabela 1.** Potencial de transporte dos inseticidas piretroides de acordo com o Método de Goss

Potencial	Transporte do contaminante, estando associado ao sedimento		
	DT <sub>50</sub> solo	K <sub>oc</sub> (mL.g <sup>-1</sup> )	S (mg.L <sup>-1</sup> )
Alto	≥ 40	≥ 1000	-
	≥ 40	≥ 500	≤ 0,5
Baixo	< 1	-	-
	≤ 2	≤ 500	-
	≤ 4	≤ 900	≥ 0,5
	≤ 40	≤ 500	≥ 0,5
	≤ 40	≤ 900	≥ 2

Potencial	Transporte do contaminante, estando dissolvido em água		
	DT <sub>50</sub> solo	K <sub>oc</sub> (mL.g <sup>-1</sup> )	S (mg.L <sup>-1</sup> )
Alto	> 35	< 100000	≥ 1
	< 35	≤ 700	≥ 10 e ≤ 100
Baixo	-	≥ 100000	-
	≤ 1	≥ 1000	-
	< 35	-	< 0,5

DT<sub>50</sub> = tempo de meia vida do pesticida; K<sub>oc</sub> = constante de adsorção à matéria orgânica; S= solubilidade em água. Fonte: O autor (adaptado de Goss, 1992)

No índice de GUS, foram utilizados, para o cálculo, os valores correspondentes às propriedades físico-químicas empregadas (meia-vida (DT<sub>50</sub>) e o coeficiente de adsorção ao solo (K<sub>oc</sub>)), de acordo com a Equação 1. Este índice estabelece três faixas de classificação à tendência de lixiviação do pesticida: GUS < 1,8 = não sofre lixiviação; 1,8 < GUS < 2,8= faixa de transição; GUS > 2,8= provável lixiviação.

$$GUS = \log(DT_{50\text{ solo}}) \cdot (4 - \log K_{oc}) \quad \text{Eq. 1}$$

As informações sobre as propriedades físico-químicas dos compostos analisados foram adquiridas a partir de levantamento feito em artigos científicos relacionados e em banco de dados de acesso livre: *Pesticide Properties Data (PPDB)* e *Pubchem* ([pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/](http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/)).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Saber o comportamento dos pesticidas no ambiente é imprescindível para prever o risco de contaminação ambiental. Assim, dependendo de suas características os pesticidas podem permanecer em diferentes compartimentos do ambiente, tais como atmosfera, solo, água de superfície e subterrânea (Cabrera *et al.*, 2008). Tendo em vista esta avaliação, encontram-se demonstradas na Tabela 2, algumas propriedades físico-químicas dos nove inseticidas piretroides em estudo listados na Figura 1.

**Tabela 2.** Propriedades físico-químicas e comportamento ambiental dos inseticidas piretroides selecionados

Composto piretroide	Solubilidade em água	Massa molecular	DT <sub>50</sub> solo (dias)	DT <sub>50</sub> água (dias)	K <sub>oc</sub> mL g <sup>-1</sup>	Log K <sub>ow</sub>
<b>Aletrina</b>	0,0001 (B)	302,41	60 (MP)	–	1400 (LM)	4,96 (A)
<b>Bifentrina</b>	0,001 (B)	422,88	86,8 (MP)	8 (Mod. R)	236610 (NM)	6,6 (A)
<b>Cipermetrina</b>	0,009 (B)	416,3	21,9 (NP)	3 (Mod. R)	307558 (NM)	5,55 (A)
<b>Deltametrina</b>	0,0002 (B)	505,2	21 (NP)	17 (L)	10240000 (NM)	4,6 (A)
<b>Esfenvalerato</b>	0,001 (B)	419,91	19,2 (NP)	30 (E)	251717 (NM)	6,24 (A)
<b>Fenpropatrina</b>	0,33 (B)	349,42	28 (NP)	1 (Mod. R)	5000 (NM)	6,04 (A)
<b>Lambda-cialotrina</b>	0,005 (B)	449,85	26,9 (NP)	0,24 (R)	283707 (NM)	5,55 (A)
<b>Permetrina</b>	0,2 (B)	391,3	42 (MP)	23 (L)	100000 (NM)	6,1 (A)
<b>Tetrametrina</b>	1,83 (B)	331,4	–	–	1423 (LM)	4,6 (A)

NP= não persistente; P=persistente; Mod. P= moderadamente persistente; MP= muito persistente; L= lento; LM = ligeiramente móvel; R= rápido; Mod. R= moderadamente rápido; A=alto. E = estável; NM = não móvel; B = baixa.

Fonte: Os autores (elaborado a partir de *Pesticide Properties Data Base (PPDB)*).

Pode-se observar que os compostos analisados apresentam baixa solubilidade em água, indicando que podem sofrer lenta remoção através de águas pluviais e pouca capacidade de migrarem no ambiente. Esse atributo físico-químico se refere a probabilidade dos contaminantes serem carregados superficialmente no solo e atingirem as águas superficiais (CABRERA *et al.*, 2008). Os altos valores para os coeficientes de partição octanol-água ( $K_{ow}$ ) registrados sinalizam a tendência bioacumulativa dos nove compostos piretroides, nos tecidos dos seres vivos. Esse parâmetro determina o caráter lipofílico da molécula do contaminante, ou seja, a afinidade por fases orgânicas, como as membranas biológicas (Milhome *et al.*, 2009).

Quanto ao tempo de meia vida ( $DT_{50}$ ), que se refere a persistência necessária para que metade da concentração total do composto químico seja degradada (Felix *et al.*, 2007), apenas 1/3 dos ingredientes ativos (aletrina, bifentrina e permetrina) mostrou-se moderadamente persistente no solo. Os demais inseticidas piretroides não mostraram essa tendência. O tempo de permanência na água apresentou-se como moderadamente rápido para 1/3 dos compostos (bifentrina, cipermetrina e fenpropatrina), lento para dois deles (deltametrina e permetrina) e o restante mostrou estável ou rápido.

O índice Koc determina o caráter lipofílico da molécula do contaminante, ou seja, a afinidade por fases orgânicas, como as membranas biológicas (Milhome *et al.*, 2009). Os valores do coeficiente de adsorção a matéria orgânica ( $K_{oc}$ ) mostram que os pesticidas analisados não apresentam mobilidade ou são apenas ligeiramente móveis no solo. Medidas altas para o  $K_{oc}$  indicam que os contaminantes se fixam com firmeza à matéria orgânica do solo, podendo ser transportados através de partículas de sedimento, e não pela água (Guarda *et al.*, 2020).

Conforme os critérios analisados, os resultados para o método de Goss (Tabela 3) mostraram a possibilidade de contaminação de águas superficiais (rios, lagos e lagoas) por compostos piretroides. Os valores indicaram médio potencial de transporte dos pesticidas em associação ao sedimento em suspensão e baixo para o transporte destas substâncias, quando dissolvidas em água, para a maioria dos inseticidas. Apenas para três compostos, foi observada alta potencialidade de chegar às águas de superfície através do transporte associado ao sedimento, e para dois dos compostos, média potencialidade, dissolvidos em água.

**Tabela 3.** Potencial de transporte para os inseticidas piretroides de acordo com o Método de Goss

Pesticida	Potencial de transporte do composto, quando associado ao sedimento	Potencial de transporte do composto, quando dissolvido em água
Aletrina	Alto	Médio
Bifentrina	Médio	Baixo
Cipermetrina	Médio	Baixo
Deltametrina	Médio	Baixo
Esfenvalerato	Alto	Baixo
Fenpropatrina	Médio	Baixo
Lambda-cialotrina	Alto	Baixo
Permetrina	Médio	Baixo
Tetrametrina	Médio	Médio

Fonte: Os autores (elaborado a partir de *Pesticide Properties Data Base (PPDB)*).

Em ambas as formas, em maior ou menor grau, estes pesticidas podem atingir as espécies aquáticas e provocar impactos negativos sobre elas, seja estando retidos no sedimento ou suspensos na coluna de água. Os peixes, por exemplo, podem sofrer alta toxicidade, devido às propriedades lipofílicas, que fazem com que tais contaminantes sejam absorvidos pelas brânquias (Rehman *et al.*, 2014), o que pode favorecer o processo de bioacumulação.

Estudo realizado com tambaquis (*Colossoma macropomum*) demonstraram que os piretroides deltametrina e esfenvalerato, foram extremamente tóxicos para estes organismos, os quais apresentaram efeitos citotóxicos e genotóxicos, além de alterações histológicas no fígado e nas brânquias (Cunha, 2014). Medina (2019) verificou que larvas de peixes zebra (*Danio rerio*) expostas a permetrina, apresentaram alterações comportamentais, tanto na fase embrionária como em estágios subsequentes de desenvolvimento. Li *et al.* (2017) verificaram que os piretroides bifentrina e cipermetrina foram frequentemente detectados em sedimentos agrícolas e urbanos, e foram identificados como os principais contribuintes para a toxicidade em invertebrados bentônicos. Duaví *et al.* (2015), por sua vez, também detectaram cipermetrina em sedimentos coletados em três pontos em áreas estuarinas e fluviais dos Rios Coco e Ceará (Fortaleza).

Outros grupos de animais aquáticos também podem ser afetados. Estudo pioneiro realizado por Alonso *et al.* (2012) constatou a bioacumulação de piretroides em mamíferos marinhos. Na análise em questão, doze piretroides foram encontrados em amostras de fígado de 23 golfinhos (*Pontoporia blainvillei*), adultos e filhotes, provenientes do Litoral Sul e Sudeste brasileiro. Foi verificada também a presença de piretroides em amostra de leite materno e placenta destes mamíferos. Os autores cogitaram que houve transferência materna, para os filhotes, de alguns inseticidas piretroides, como permetrina, bifentrina, tetrametrina e deltametrina por via gestacional, mas principalmente pela lactação.

Uma vez que estejam presentes na água, os principais efeitos dos inseticidas piretroides sobre os organismos incluem alterações no crescimento, desenvolvimento, reprodução, respostas (adversas) farmacocinéticas, patológicas, bioquímicas, fisiológicas e no comportamento (Oliveira e Silva, 2017).

A presença de agrotóxicos em mananciais, também pode ser prejudicial para os seres humanos, quando a água é utilizada para abastecimento público, tendo em vista que existe a necessidade de tecnologias mais complexas e seguras de tratamento em relação as que normalmente são usadas para a obter a potabilidade (Fernandes e Sarcinelli, 2009).

Os resultados obtidos para os índices de GUS, em relação à capacidade dos compostos em sofrerem lixiviação, encontram-se na Tabela 4) evidenciaram que os pesticidas piretroides, não apresentam potencial de contaminação para águas subterrâneas, uma vez que não sofrem lixiviação ( $GUS < 1,8$ ).

**Tabela 4.** Potencial de lixiviação dos inseticidas piretroides de acordo com o Índice GUS

Pesticida	Ale	Bif	Ciper	Delta	Esfen	Fenpro	Lambda	Perm	Tetra
Índice GUS	1,52	-2.66	-1,99	-3,98	-1.80	-0,80	-2.09	-1.62	-0.42
Análise de GUS	NL	NL	NL	NL	NL	NL	NL	NL	NL

NL = não sofre lixiviação.

Fonte: OS autores (elaborado a partir de *Pesticide Properties Data Base (PPDB)*).

A lixiviação ocorre quando a água se infiltra no solo e avança em profundidade, atingindo o lençol freático (Rebello e Caldas, 2014). Quanto menor o valor de meia-vida, menos lixiviável o composto se apresenta. Quanto maior o valor de  $DT_{50}$  maior será o potencial de contaminação das águas, dado o maior tempo necessário para a degradação do pesticida no solo e sua conseqüente permanência no ambiente (Ferracini *et al.*, 2001). Além da adsorção ao solo,  $DT_{50}$  e a solubilidade em água, a tendência de um pesticida ser lixiviado depende de outras condições como o tipo de solo, a presença e a preservação da cobertura vegetal, a declividade do relevo, e a incidência de chuvas (Dellamatrice e Monteiro, 2014). Os agroquímicos também podem sofrer degradação pela influência de outros fatores físicos, químicos e biológicos (Vryzas, 2018).

## 4. CONCLUSÃO

O presente estudo se fundamenta, de forma preliminar e relativamente simples, em uma avaliação baseada apenas nas propriedades físico-químicas de compostos químicos, de forma a se prever o comportamento ambiental e o destino final de poluentes orgânicos nos diferentes compartimentos (solo, água, sedimento).

A avaliação quanto ao destino no ambiente de nove inseticidas piretroides indicou que os compostos podem se fixar principalmente às partículas do solo e do sedimento e, através do escoamento superficial, podem atingir o meio aquático. Uma vez no ambiente aquático, podem depositar-se na região de fundo, entrar em contato com as espécies bentônicas e promover um paulatino processo de bioacumulação, colocando em risco não só tais organismos, como também a saúde humana, seja pela alimentação, seja pelo consumo da água contaminada.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Processo 314948/2018-0), pela bolsa DT concedida.

## 6. REFERÊNCIAS

- ABOUZIENA, H. F.; HAGGAG, W. M. Métodos alternativos de controle não químicos de plantas daninhas: Uma revisão. **Planta Daninha**, v. 34, n. 2, p. 377–392, 2016.
- ALVES, S. R.; OLIVEIRA-SILVA, J. J. Avaliação de ambientes contaminados por agrotóxicos. **É Veneno Ou É Remédio?: Agrotóxicos, Saúde E Ambiente**, v. 1, n. 1, p. 137–156, 2003.
- ALONSO, M. B. et al. Pyrethroids: A new threat to marine mammals? **Environment International**, v. 47, p. 99–106, 2012.
- BITTENCOURT-JUNIOR, F. F.; SOARES, É. R. Uma revisão sobre pesticidas: mecanismos de ação, conseqüências socio-ambientais e estratégias para mitigação. **Interbio**, v. 7, n. 2, p. 14–22, 2013.
- CABRERA, L.; COSTA, F. P.; PRIMEL, E. G. Estimativa de risco de contaminação das águas por pesticidas na região sul do estado do RS. **Química Nova**, v. 31, n. 8, p. 1982–1986, 2008.
- CASSAL, V. B. et al. Agrotóxicos: uma revisão de suas conseqüências para a saúde pública.

- Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 437–445, 2014.
- CHRUSTEK, A. et al. Current research on the safety of pyrethroids used as insecticides. **Medicina (Lithuania)**, v. 54, n. 4, p. 1–15, 2018.
- CUNHA, F. DOS S. **Efeitos tóxicos de inseticidas piretróides sobre o peixe tambaqui (Colossoma macropomum)**. 2015. 54 f. **Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente)** -. [s.l.] Universidade Tiradentes, Sergipe, 2014.
- DELLAMATRICE, P. M.; MONTEIRO, R. T. R. Principais aspectos da poluição de rios brasileiros por pesticidas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 12, p. 1296–1301, dez. 2014.
- DUAVÍ, W. C. et al. Contaminação de ambientes aquáticos por “Agrotóxicos urbanos”: O caso dos rios cocó e ceará, Fortaleza - Ceará, Brasil. **Química Nova**, v. 38, n. 5, p. 622–630, 2015.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Pyrethrins and Pyrethroids Reregistration and Labeling This page includes information**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/pyrethrins-and-pyrethroids-reregistration-and-labeling>>. Acesso em: 28 ago. 2021.
- FELIX, F. F.; NAVICKIENE, S.; DÓREA, H. S. Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) como Indicadores da Qualidade dos Solos. **Revista da Fapese**, v. 3, n. 2, p. 39–62, 2007.
- FERNANDES NETO, M. L.; SARCINELLI, P. N. Agrotóxicos em água para consumo humano: uma abordagem de avaliação de risco e contribuição o processo de atualização da legislação brasileira. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 69–78, 2009.
- FERRACINI, V. L. et al. Análise de risco de contaminação das águas subterrâneas e superficiais da região de Petrolina (Pe) e Juazeiro (Ba). **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 11, p. 1–16, 2001.
- GALLI, A. et al. Utilização de técnicas eletroanalíticas na determinação de pesticidas em alimentos. **Química Nova**, v. 29, n. 1, p. 105–112, 2006.
- GOSS, D. W. . Screening Procedure for Soils and Pesticides for Potential Water Quality Impacts. **Weed Science Society of America**, v. 6, n. 3, p. 701–708, 1992.
- GUARDA, P. M. et al. Avaliação da contaminação por pesticidas nos sedimento do Rio Formoso no Estado do Tocantins. **DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 7, n. Especial, p. 123–135, 30 out. 2020.
- GUSTAFSON, D. I. Groundwater ubiquity score: A simple method for assessing pesticide leachability. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 8, n. 4, p. 339–357, abr. 1989.
- LI, H. et al. Global occurrence of pyrethroid insecticides in sediment and the associated toxicological effects on benthic invertebrates: An overview. **Journal of Hazardous Materials**, v. 324, p. 258–271, 2017.
- MARONI, M. et al. **Biological monitoring of pesticide exposure: A review**. [s.l.: s.n.]. v. 143
- MEDINA, M. E. **Efeitos do inseticida permetrina sobre o desenvolvimento de peixes-zebra**. 2019. 133 f. **Tese (Doutorado em Bioquímica Toxicológica)** -. [s.l.] Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.
- MENDES, C. R. A. et al. Agrotóxicos: principais classificações utilizadas na agricultura brasileira - uma revisão de literatura. **Revista Maestria**, v. 17, p. 95–107, 2019.
- MILHOME, M. A. L. et al. Assessment of surface and groundwater potential contamination by agricultural pesticides applied in the region of Baixo Jaguaribe, CE, Brazil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 363–372, 2009.

- 
- MONTANHA, F. P.; PIMPÃO, C. T. Efeitos toxicológicos de piretróides (cipermetrina e deltametrina) em peixes. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, v. 9, n. 18, p. 1–58, 2012.
- NASCIMENTO, L.; MELNYK, A. A química dos pesticidas no meio ambiente e na saúde. **Revista Mangaio Acadêmico**, v. 1, n. 1, p. 54–61, 2016.
- OLIVEIRA, G. A. V.; SILVA, J. M. S. F. Equilíbrio químico e cinética enzimática da interação de  $\alpha$ -amilase com compostos fenólicos encontrados em cerveja. **Química Nova**, v. 40, n. 7, p. 726–732, 19 maio 2017.
- REBELO, R. M.; CALDAS, E. D. Avaliação de risco ambiental de ambientes aquáticos afetados pelo uso de agrotóxicos. **Química Nova**, v. 37, n. 7, p. 1199–1208, 2014.
- REHMAN, H. et al. Systematic review on pyrethroid toxicity with special reference to deltamethrin. **Journal of Entomology and Zoology Studies JEZS**, v. 2, n. 26, p. 60–70, 2014.
- TANG, W. et al. Pyrethroid pesticide residues in the global environment: An overview. **Chemosphere**, v. 191, n. 308, p. 990–1007, 2018.
- VRYZAS, Z. Pesticide fate in soil-sediment-water environment in relation to contamination preventing actions. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 4, p. 5–9, ago. 2018.