

INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA TOXICIDADE DO INSETICIDA CLOTIANIDINA PARA ENQUITREIDEOS EM SOLO ARENOSO E ARGILOSO

GUSTAVO PICCOLOTTO DA ROZA^{1,2*}, LUANA NARDI³, ANDRÉ
PERUCHI⁴, PAULO ROGER LOPES ALVES^{2,5}

1 Introdução

A clotianidina é um inseticida sistêmico neonicotinoide amplamente utilizado no tratamento de sementes de diversas culturas agrícolas (Xu *et al.*, 2016). Todavia, alguns estudos vêm demonstrando também seus impactos ecotoxicológicos em espécies não-alvo, como os enquitreideos, usados como bioindicadores em ensaios ecotoxicológicos, devido à alta sensibilidade desses organismos a contaminantes (Freitas *et al.*, 2026).

As mudanças climáticas influenciam diversos fatores ambientais, causando efeitos como o aumento da temperatura da atmosfera e alterações no regime hídrico (aumento de secas ou inundações), o que pode modificar a biodisponibilidade e toxicidade de contaminantes químicos (Holmstrup, 2010). Sabe-se ainda que a toxicidade de inseticidas pode ser influenciada pela temperatura, de modo que sua elevação pode potencializar efeitos tóxicos, o que torna importante incorporar cenários climáticos na avaliação de risco ambiental (Rakes *et al.*, 2024).

Além disso, a toxicidade dos agrotóxicos pode variar significativamente conforme o tipo de solo em que as espécies estão expostas, sendo influenciada, dentre outros fatores, pela textura do solo (teor de areia/argila) e pelo teor de matéria orgânica (Van Hall; Van Gestel, 2025), o que justifica a necessidade de integrar diferentes tipos de solo e cenários de mudanças climáticas para melhor entender a toxicidade de inseticidas.

2 Objetivos

Comparar o potencial tóxico da clotianidina sobre a reprodução de *Enchytraeus crypticus* em solos naturais tropicais de textura arenosa e argilosa a 25 °C, com diferentes

1 Graduado em Agronomia, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Chapecó, contato: gustavopiccolottodaroza@gmail.com

2 Grupo de Pesquisa: GEPEA - Grupo de Estudos e Pesquisas em Saneamento Ambiental.

3 Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Chapecó.

4 Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Chapecó.

5 Doutor em Ciências, professor na UFFS, *campus* Chapecó, **Orientador**.

regimes de umidade.

3 Metodologia

Os enquitreideos (*E. crypticus*) foram criados em laboratório, em placas de Petri contendo meio de cultivo composto por 13,6 g de ágar bacteriológico (Oxoid - Ágar nº 1); 6 mL de solução 0,1 M de NaHCO₃; 6,4 mL de solução 0,001 M de KCl; 772 mL de água destilada; 8 mL de solução de CaCl₂·H₂O; e 8 mL de MgSO₄. Os organismos foram mantidos a 20 ± 2 °C e sob um fotoperíodo de 12:12 h (claro:escuro). Para a manutenção, duas vezes por semana, foram alimentados com 2 mg de farelo de aveia (*Avena sativa*) e 2-3 gotas de água destilada, conforme NBR ISO 16387 (ABNT, 2012).

O contaminante utilizado foi a formulação comercial do inseticida Inside FS® (600 g L⁻¹ de clotianidina). A contaminação do solo foi realizada por meio da diluição do agrotóxico em água destilada e de sua aplicação manual em sacos plásticos. A solução de contaminação foi aplicada de modo a manter umidades próximas de 20% e 60% da capacidade de retenção de água (CRA) no Neossolo e de 40% e 80% no Latossolo. Para o tratamento de controle, utilizou-se apenas água destilada (também nos dois teores de umidade do solo). Após aplicação, os solos foram homogeneizados e introduzidos 10 enquitreideos em cada recipiente de teste.

Os ensaios de toxicidade crônica foram conduzidos por 21 dias, utilizando-se um delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com seis tratamentos (concentrações + controle) e cinco repetições por tratamento. Os experimentos foram mantidos em ambiente com temperatura de 25 °C e fotoperíodo idêntico ao da criação. Os enquitreideos foram alimentados com 2 mg de farelo de aveia uma vez por semana, e os recipientes foram abertos para aeração e reposição de água, com base na diferença de massa. A avaliação foi realizada conforme descrito na NBR ISO 16387 (ABNT, 2012). Foi realizada ANOVA, seguida do teste de Dunnett (p<0,05) para determinar a menor concentração com efeito observado (LOEC) e a maior concentração sem efeito observado (NOEC). As concentrações com efeitos em 20% e 50% da população (EC20 e EC50, respectivamente) foram determinadas conforme o protocolo de análises do Environmental Canada (2007). As análises estatísticas foram realizadas no software Statistica 13.0.

4 Resultados e Discussão

Foram observadas reduções significativas na reprodução de *E. crypticus* em ambos os solos e umidades testadas (Figura 1), embora a sensibilidade da espécie tenha sido diferente

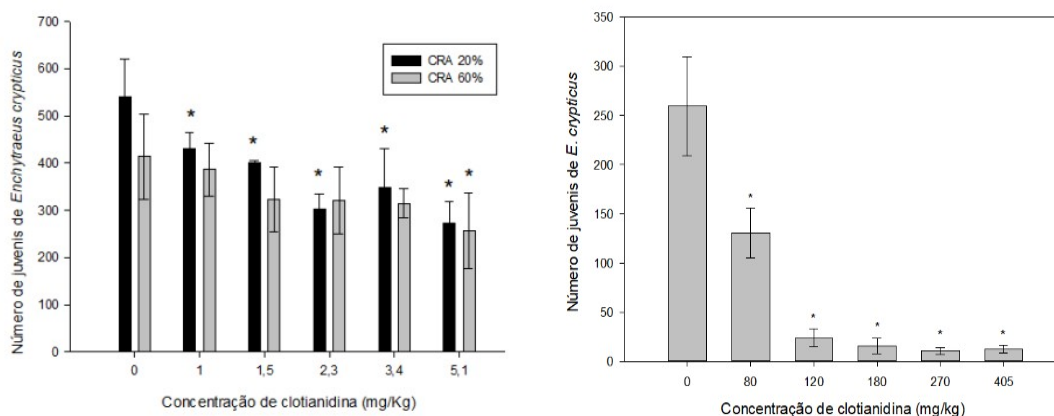
entre os solos e as umidades (Figuras 2 e 3). No caso do Latossolo, mesmo no tratamento controle, não houve reprodução na condição de menor umidade, por isso, não há dados apresentados.

Figura 1. Parâmetros ecotoxicológicos (EC50, EC20, NOEC e LOEC) calculados com base em ensaios de toxicidade crônica com a espécie *E. crypticus*, em Latossolo e Neossolo, submetidos a concentrações crescentes de clotianidina (mg kg^{-1}).

Parâmetro	Latossolo 80% CRA	Neossolo 60% CRA	Neossolo 20% CRA
EC50	80,1 (72,9 - 87,4)	8,64 (0,72 - 16,6)	5,40 (2,57 - 8,23)
EC20	55,3 (43,9 - 66,6)	2,06 (-0,09 - 4,21)	0,81 (0,07 - 1,55)
NOEC	<80,0	3,4	<1,0
LOEC	80,0	5,1	1,0

Fonte: autores, 2026.

Figuras 2 e 3. Número de juvenis gerados pela espécie *E. crypticus* em Neossolo (20% e 60% CRA) e Latossolo (80% CRA), respectivamente, após 21 dias de exposição a diferentes concentrações de clotianidina.



Fonte: autores, 2026. *indica que houve redução significativa ($p < 0.05$) entre o controle e o tratamento (teste de Dunnett). (T) Indica o desvio padrão.

De forma geral, em ambos os solos observou-se redução no número de juvenis gerados com o aumento da concentração de clotianidina. Quando se compararam os níveis de toxicidade com base nos parâmetros ecotoxicológicos EC20 e EC50, verificou-se que a maior toxicidade para *E. crypticus* foi observada no Neossolo com umidade de 20% da CRA, posteriormente no Neossolo com 60% da CRA e, por fim, a menor toxicidade foi observada no Latossolo com 80% da CRA. Não foi possível avaliar os resultados com Latossolo a 40% da CRA, em virtude do não atendimento aos critérios de validação de ensaios ecotoxicológicos,

conforme NBR ISO 16387 (ABNT, 2012), devido ao baixo número de organismos gerados no controle (C0) nessa condição, em razão da forte absorção de água pelo solo, o que a torna indisponível aos organismos.

Assim, as mudanças climáticas, através da redução do teor de água do solo, aumentam o potencial de toxicidade dos agrotóxicos aos organismos edáficos. De tal forma, a água dos poros é a principal via de exposição dos invertebrados, e a maior concentração do produto é determinante para a toxicidade, conforme relatado por Van Hall e Van Gestel (2025). A redução do número de juvenis decorre do mecanismo de ação da clotianidina, cuja molécula liga-se irreversivelmente aos receptores nicotínicos, competindo com a acetilcolina e promovendo paralisia e/ou hiperestimulação nervosa dos organismos vulneráveis e morte (Simon-Delso *et al*, 2015).

As diferenças de toxicidade entre os dois tipos de solo utilizados, pode ser explicada pela composição e granulometria dos mesmos. Enquanto o Neossolo possui cerca de 94% de areia e 2,2% de matéria orgânica, o Latossolo apresenta 59% de argila e 3,7% de matéria orgânica, fatores que influenciam fortemente a biodisponibilidade da molécula no solo. A argila é uma partícula muito pequena ($<0,002$ mm) e possui alta área superficial específica, o que acarreta maior adsorção de moléculas de inseticidas, reduzindo sua biodisponibilidade para os organismos (Ogungbemi; Van Gestel, 2018), o que justifica os valores bem maiores dos ECs, LOEC e NOEC no Latossolo.

Além disso, o teor de matéria orgânica também atua em conjunto com a argila na biodisponibilidade do contaminante, de modo que quanto maior o teor de matéria orgânica, maior é a dose necessária para que haja toxicidade (Römbke *et al.*, 2007). Conforme Khan (1991), isso ocorre pois considerável parte dos agrotóxicos aplicados permanece no solo como resíduos ligados, que são formados pela interação com a matéria orgânica e os produtos da degradação desses produtos podem ser retidos fortemente pelas frações húmicas.

5 Conclusão

A clotianidina causou efeito tóxico sobre *E. crypticus* em solos naturais tropicais distintos, reduzindo a taxa de reprodução. Houve maior toxicidade em Neossolo com menor teor de umidade, enquanto em Latossolo o menor teor de umidade inviabilizou a sobrevivência e reprodução dos organismos. A toxicidade foi menor em Neossolo, em comparação ao Latossolo.

Referências Bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 16387:2012: qualidade do solo: efeitos de poluentes em Enchytraeidae (*Enchytraeus* sp.): determinação dos efeitos na reprodução e sobrevivência. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- ENVIRONMENTAL CANADA. Guidance document on statistical methods for environmental toxicity test. Ottawa: Environmental Canada, 2007. (Environmental Protection Series, EPS 1/RM/46).
- FREITAS, T. R. *et al.* Pesticides effects and sensitivity of enchytraeids and earthworms: a systematic review in Brazilian research and future perspectives. *Science of the Total Environment*, [s. l.], v. 1015, 181419, 2026.
- HOLMSTRUP, M. *et al.* Interactions between effects of environmental chemicals and natural stressors: a review. *Science of the Total Environment*, [s. l.], v. 408, n. 18, p. 3746-3762, 2010.
- KHAN, S. U. Bound pesticide degradation products in soils. In: SOMASUNDARAM, L.; COATS, J. R. (ed.). Pesticide transformation products: fate and significance in the environment. Washington, DC: *American Chemical Society*, 1991. p. 108-121.
- OGUNGBEMI, A. O.; VAN GESTEL, C. A. M. Extrapolation of imidacloprid toxicity between soils by exposing *Folsomia candida* in soil pore water. *Ecotoxicology*, [s. l.], v. 27, p. 1107-1115, 2018.
- RAKES, M. *et al.* The temperature affects the impact levels of synthetic insecticides on a parasitoid wasp used in the biological control of pentatomid pests in soybean crops. *arXiv*, arXiv:2403.05479, 2024. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2403.05479>. Acesso em: 18 ago. 2026.
- RÖMBKE, J. *et al.* The effect of tributyltin-oxide on earthworms, springtails and plants in artificial and natural soils. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, [s. l.], v. 52, p. 525-534, 2007.
- SIMON-DELISO, N. *et al.* Systemic insecticides (neonicotinoids and fipronil): trends, uses, mode of action and metabolites. *Environmental Science and Pollution Research*, [s. l.], v. 22, n. 1, p. 5-34, 2015.
- VAN HALL, B. G.; VAN GESTEL, C. A. M. The influence of soil organic matter content on the toxicity of pesticides to the enchytraeid *Enchytraeus crypticus*. *Environmental Pollution*, [s. l.], v. 368, 125825, 2025.
- XU, T. *et al.* Clothianidin in agricultural soils and uptake into corn pollen and canola nectar after multiyear seed treatment applications. *Environmental Toxicology and Chemistry*, [s. l.], v. 35, n. 2, p. 311-321, 2016.

Palavras-chave: inseticidas; clotianidina; *Enchytraeus crypticus*; latossolo; neossolo.

Nº de Registro no sistema Prisma: PES-2025-0370

Financiamento: UFFS