

## ANÁLISE DA POTENCIALIDADE DE CONTAMINAÇÃO HÍDRICA SUBTERRÂNEA POR AGROTÓXICOS NO CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL

Jonathas Gomes de Carvalho Marques (\*), Suzana Maria Gico Lima Montenegro, Marília Regina Costa Castro Lyra, José Antônio Aleixo da Silva, Flávio Leôncio Guedes

\* Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, e-mail [jonathasgomes@hotmail.com](mailto:jonathasgomes@hotmail.com)

### RESUMO

A agricultura no Brasil cresce ano após ano e, juntamente a ela, a preocupação com as externalidades negativa advindas do manejo inadequado dos agrotóxicos utilizados no controle das pragas, especificamente para o cultivo da cana-de-açúcar, tendo em vista ser este o principal cultivo agrícola brasileiro. Dentre as matrizes ambientais afetadas, destacam-se os recursos hídricos subterrâneos, devido à possibilidade iminente de utilização deste bem para abastecimento humano. Sendo assim, o presente estudo teve como objetivo estimar a potencialidade de contaminação ambiental, em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, para os recursos hídricos subterrâneos. A análise deu-se através de modelos analíticos (índices de LIX e GUS), com uso de dados físico-químicos dos agrotóxicos aprovados pelo Governo Federal para uso na cultura de cana-de-açúcar. Como resultado das equações, os ingredientes ativos abamectina, acetato de (Z)-11-hexadecenila, acetato de (Z)-9-tetradecenila, alfa-cipermetrina não possuem propensão a lixiviar; acetocloro, ácido 4-indol-3-ibutírico, alacloro e ametrinas estão alocados em classe de transição; e o ácido giberélico e amicarbazona indicaram possuir capacidade de lixiviar. Sendo assim, sugere-se a utilização dos compostos com menor probabilidade de contaminação, quando for realmente necessário o seu uso, visando menor impacto ambiental negativo na produção agrícola sucrocooleira no Brasil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agricultura, Contaminação ambiental, Lixiviação.

### INTRODUÇÃO

No contexto mundial, o Brasil destaca-se pela grande produção agrícola devido a sua extensa área territorial e, segundo Freitas e Mendonça (2016), pelo diferencial (como poucos no mundo) de ainda ter condições de expandir suas fronteiras agrícolas, aumentando sua produção. Países como Rússia, Estados Unidos, Argentina, Austrália, além de membros da Comunidade Europeia não conseguem facilmente aumentar sua área agricultável, seja em condições técnicas e/ou economicamente viáveis.

Dentro desse escopo, a cana-de-açúcar é o principal cultivo agrícola do Brasil, destacando-se em primeiro lugar em todo o mundo. Estudos da Conab (2020) permitem inferir um aumento de produtividade no Brasil de 0,3% em 2020/21 se comparado com 2019/20, com média nacional de 76.348kg/ha para esta cultura. O aumento da área plantada de cana-de-açúcar cresceu 70% entre 2005 e 2012 no Brasil principalmente devido à introdução dos veículos flex (com a possibilidade de uso de etanol e gasolina), com um papel estratégico na economia nacional (INPUT, 2016).

Entretanto, a agricultura, em detrimento de sua capacidade de produzir alimentos para a população, é capaz de gerar contaminação ambiental majoritariamente, devido ao uso de insumos químicos como os agrotóxicos (MARQUES et al, 2019) utilizados para o controle de pragas e, com destaque para a cultura de cana-de-açúcar.

As marcas comerciais aprovadas pelo Governo Federal para este cultivo (e seus respectivos ingredientes ativos) são abamectin Nortox 400 WG, Avicta 500 FS, Avicta 500 FS Pro (abamectina); Bio Spodoptera, SC-A1-0083, Iscalure Armigera (Acetato de (Z)-11-hexadecenila); Bio Spodoptera, SC-A1-0083 (Acetato de (Z)-9-tetradecenila); Surpass (Acetocloro); Maxport, Pro-Gibb, Progibb 400, Proliant, Stimulant (Ácido giberélico); Maxport, Stimulate (Ácido 4-indol-3-ibutírico); Alaclor+Atrazina SC Nortox, Alaclor Nortox (Alacloro); Muneo, Regent Duo (alfa-cipermetrina); Ametrex WG, Ametrex 500 SC, Ametrina Alta 500 SC, Ametrina Atanor 50 SC, Ametrina 500 SC Rainbow, Compass, DK Plus, Gesamena, Gesapax 500 Ciba-Geigy, Herbipak WG, Herbipack 500 BR, Kaner 800 WG, Krismat WG, Leale SC, Listar, MegaBR, MegaBR Duo, Metrimex, Metrimex 500 SC, Seletrina, Simetrex SC, Sinerge SC, Sirtaki Gold, Sugarina (ametrina); Dinamic, Guerrero, Magneto SC, Oris, Predileto, Ritmo, Zonic (amicarbazona) (AGROFIT, 2020). Porém, no relatório anual do Ibama (2018) de venda de agrotóxicos, referente a 2018 (último ano constante para acesso público), conta somente os ingredientes ativos alacloro (0 toneladas), abamectina (256 toneladas) e ametrina (4077 toneladas) com destaque para este último com relação ao quantitativo de vendas e, conseqüentemente, seu caminharmento no meio ambiente.

Sendo assim, é importante entender quais são os caminhos possíveis desses compostos no meio ambiente, especificamente para os recursos hídricos subterrâneos, tendo em vista o risco iminente de contaminação humana (por meio do abastecimento hídrico populacional advindo de fontes próximas a áreas agrícolas). Para tanto, avaliações

iniciais válidas podem ser produzidas por meio de equações matemáticas, a exemplo do índice de GUS (GUSTAFSON, 1989) e LIX (SPADOTTO, 2002), que já são utilizados em vários estudos científicos (MARQUES et al, 2019).

Destaca-se, porém, que não foi alvo deste estudo a utilização de agrotóxicos distintos dos que são aprovados para este cultivo no país, pois a identificação do risco seria muito difícil de se realizar, tendo em vista a impossibilidade de ciência dos produtos que estão sendo utilizados. Além disto, a simples utilização de outros compostos (não aprovados para a cultura a que se destina), mesmo que em condições ambientais adequadas, implica em um risco não avaliado pelos órgãos competentes.

## OBJETIVOS

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo estimar a potencialidade de contaminação ambiental, em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, para os recursos hídricos subterrâneos por meio de lixiviação.

## METODOLOGIA

Visando entender a potencialidade de contaminação hídrica subterrânea da cultura de cana-de-açúcar por meio do uso de agrotóxicos, utilizou-se dois modelos analíticos para estimar a capacidade de lixiviação dos dez compostos aprovados pelos órgãos competentes no Brasil para uso neste cultivo (Tabela 1).

**Tabela 1. Agrotóxicos aprovados para a cultura da cana-de-açúcar no Brasil e seus parâmetros físico-químicos.**  
Fonte: Agrofitt (2020); Pesticides Properties Database (PPDB) (LEWIS et al., 2016); Pesticide Action Network (PAN) (KEGLEY et al., 2016); \*Estimativa feita no software EPI USEPA.

Ingredientes ativos	Grupo químico	Classe	K <sub>oc</sub>	T <sub>1/2</sub>
Abamectina	Avermectina	Acaricida/inseticida/nematicida	5638	30
Acetato de (Z)-11-hexadecenila	Acetato insaturado	Feromônio	24890000*	15*
Acetato de (Z)-9-tetradecenila	Acetato insaturado	Feromônio	7493*	15*
Acetocloro	Cloroacetanilida	Herbicida	156	14
Ácido giberélico	Giberelina	Regulador de crescimento	10	4
Ácido 4-indol-3-ibutírico	Ácido indolalcanóico	Regulador de crescimento	550	30*
Alacloro	Cloroacetanilida	Herbicida	335	14
Alfa-cipermetrina	Piretróide	Inseticida	288735	23
Ametrina	Triazina	Herbicida	245	37
Amicarbazona	Triazolinona	Herbicida	30	21

Os dois índices utilizados são: índice de GUS (GUSTAFSON, 1989) e índice de LIX (SPADOTTO, 2002). As equações para as estimativas são as seguintes:

$$\text{GUS} = \log (T_{1/2}) * (4 - \text{Log } K_{oc}) \quad \text{equação (1)}$$

$$\text{LIX} = \exp (-k \cdot K_{oc}) \quad \text{equação (2)}$$

Em que k é a taxa de primeira ordem do pesticida, T<sub>1/2</sub> se refere à meia vida do agrotóxico no solo (em dias) e K<sub>oc</sub> é o coeficiente de adsorção ao carbono orgânico.

Os resultados dos modelos devem ser entendidos com sua classificação em: GUS < 1,8 (não lixivia), 1,8 ≤ GUS ≤ 2,8 (zona de transição) e GUS > 2,8 (lixivia) (GUSTAFSON, 1989) e LIX = 0 (não lixivia), 0 < LIX < 0,1 (transição) e LIX ≥ 0,1 (lixivia) (GUSTAFSON, 1989).

Segundo Marques et al. (2019) estes dois índices tendem a fornecer resultados semelhantes no que se refere à potencialidade de contaminação hídrica subterrânea. Entretanto, como a aplicação de índices envolve incertezas, o enquadramento final para fins deste estudo, delimitou o ingrediente ativo (que divergiu de classe) na faixa do índice que previu a situação mais grave para o mesmo, do ponto de vista de contaminação ambiental. Esse procedimento põe em prática o princípio da precaução quando da aplicação desses produtos químicos na agricultura brasileira.

## RESULTADOS

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, o que impõe a necessidade de prudência maior quando do uso de produtos químicos utilizados neste tipo de cultivo. Sendo assim, são expostos os resultados para os índices propostos nesta seção (Tabela 2).

**Tabela 2. Potencialidade de lixiviação dos agrotóxicos aprovados para a cultura da cana-de-açúcar. Fonte: Autor do Trabalho.**

Ingredientes ativos	GUS	GUS - classe	LIX	LIX - classe	Classificação final
Abamectina	0.368	não lixivia	0	não lixivia	não lixivia
Acetato de (Z)-11-hexadecenila	-3.994	não lixivia	0	não lixivia	não lixivia
Acetato de (Z)-9-tetradecenila	0.147	não lixivia	0	não lixivia	não lixivia
Acetocloro	2.071	transição	$4,4 \times 10^{-4}$	transição	transição
Ácido giberélico	1.806	transição	$1,7 \times 10^{-1}$	lixivia	lixivia
Ácido 4-indol-3-ibutírico	1.861	transição	$3 \times 10^{-6}$	transição	transição
Alacloro	1.690	não lixivia	$6 \times 10^{-8}$	transição	transição
Alfa-cipermetrina	-1.989	não lixivia	0	não lixivia	não lixivia
Ametrina	2.526	transição	$1 \times 10^{-2}$	transição	transição
Amicarbazona	3.336	lixivia	$3 \times 10^{-1}$	lixivia	lixivia

Dentre os 10 agrotóxicos aprovados para a cultura de cana-de-açúcar no Brasil, 60% devem ser melhor analisados quando de sua provável utilização na cultura de cana-de-açúcar, visando resguardar a salubridade ambiental, são eles: acetocloro (transição), ácido 4-indol-3-ibutírico (transição), alacloro (transição), ametrina (transição), ácido giberélico (lixivia) e amicarbazona (lixivia).

Com esta gama de agrotóxicos aprovados no país, a despeito das matrizes solo, ar e ser humano, estudos comprovam a contaminação hídrica do princípio ativo amicarbazona (SANTOS et al., 2015), de modo que já se tem criado técnicas de fitorremediação para este composto, visando a restauração do meio afetado pelo composto agrotóxico (MELLO, 2018). Em análises laboratoriais também foram identificadas o acetocloro (BATTAGLIN et al., 2000), alacloro (BATTAGLIN et al., 2000) e ametrina (IGNJATOVIC et al., 1998). Além disto, o ácido giberélico, apesar de não ter sido encontrado estudos laboratoriais, Silva et al. (2017), em procedimentos metodológicos similares ao presente trabalho, obtiveram resultados congruentes ao constatarem que este composto tem maior possibilidade de chegar aos aquíferos.

Frente ao exposto, a despeito do uso destes produtos químicos, entende-se mais viável e sustentável o uso de manejo integrado de pragas como alternativa ao uso de pesticidas, entretanto, quando constatada a necessidade de seu uso, deve-se utilizar os que apresentaram menor risco de lixiviar e contaminar os recursos hídricos subterrâneos, visando sustentabilidade na agricultura brasileira.

## CONCLUSÕES

Sugere-se a utilização dos princípios ativos abamectina, acetato de (Z)-11-hexadecenila, acetato de (Z)-9-tetradecenila, alfa-cipermetrina na cultura de cana-de-açúcar em lugar dos agrotóxicos enquadrados em classes de transição e de lixiviação, quando houver efetiva necessidade de aplicação desses insumos químicos para o controle de pragas.

Ademais, recomenda-se a realização de novos estudos para melhor compreender as nuances da contaminação ambiental hídrica subterrânea advindas da agricultura de cana-de-açúcar e, assim, fornecer bases mais sólidas para sustentabilidade no país.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGROFIT. Sistema de agrotóxicos Fitossanitário. [2020]. Disponível em: [http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons). Acesso em: 30 ago 2020.

2. BATTAGLIN, W.A.; FURLONG, E. T.; BURKHARDT, M. R.; PETER C. J. Occurrence of sulfonylurea, sulphonamide, imidazolinone and other herbicides in rivers, reservoirs and ground water in the Midwestern United States, 1998. **Science Total Environmental**, v. 248, n. 2-3, p.123-133, 2000.
3. CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar**. Brasília: Conab, 2020.
4. FREITAS, R. E.; MENDONÇA, M. A. A. Expansão agrícola no Brasil e a participação da soja: 20 anos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 54, n. 3, p. 497-516, 2016.
5. GUSTAFSON, D. I. Groundwater Ubiquity Score: a simple method for assessing pesticide leachability. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 08, p. 339-357, 1989.
6. IBAMA – INSTITUTO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Relatórios de comercialização de agrotóxicos**. [2018]. Disponível em: <http://ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos#boletinsanuais>. Acesso em 20 ago 2020.
7. IGNJATOVIC, L. M.; VESELINOVIC, D.; MARKOVIC, D.; VUKELIC, N. Adsorptive stripping voltammetric determination of the herbicides atrazine. **Journal of the Serbian Chemical Society**, v. 63, n. 1, p. 75-84, 1998.
8. INPUT. **O papel da cana-de-açúcar no desenvolvimento econômico**. [2016]. Disponível em: [https://www.inputbrasil.org/wp-content/uploads/2016/07/Sumario\\_CanadeAcucar\\_PT\\_CPI.pdf](https://www.inputbrasil.org/wp-content/uploads/2016/07/Sumario_CanadeAcucar_PT_CPI.pdf). Acesso em 06 set 2020.
9. KEGLEY, S. E.; HILL, B. R.; ORME, S.; CHOI, A. H. PAN **Pesticide Database**, Pesticide Action Network, North America (Oakland, CA, 2016). Disponível em: < [http://www.pesticideinfo.org/Search\\_Chemicals.jsp](http://www.pesticideinfo.org/Search_Chemicals.jsp)>. Acesso em: 04 out. 2017.
10. LEWIS, K. A.; TZILIVAKIS, J.; WARNER, D. J.; GREEN, A. An international database for pesticide risk assessments and management. **Human and Ecological Risk Assessment: an international journal**, v. 22, n. 04, p.1050- 1064, 2016.
11. MARQUES, J. G. C.; LYRA, M. R. C. C.; CARVALHO, R. M. C. M. O.; NASCIMENTO, R. M.; SILVA, J. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Comparação entre índices de potencial de lixiviação para agrotóxicos utilizados na sub-bacia do Natuba, Vitória de Santo Antão-Pernambuco. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 33, n. 1, p. 58-67, 2019.
12. MELLO, A. J. P. **Uso de adubos verdes para fitorremediação de solos contaminados com amicarbazone**. 2018. 103 f. Tese (Doutorado em Proteção de Plantas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, 2018.
13. SANTOS, E. A.; CORREIA, N. M.; SILVA, J. R. M.; VELINI, E. D.; PASSOA, A. B. R. J.; DURIGAN, J. C. Herbicide detection in groundwater in Córrego Rico-SP Watershed. **Planta Daninha**, v. 33, n. 1, p. 147-155, 2015.
14. SILVA, P. T. S.; SILVA, G. S.; AMORIM JÚNIOR, A. C.; ALBUQUERQUE JÚNIOR, E. C.; CUNHA, T. J. F.; MOURA, M. S. B. **Contaminação potencial dos corpos hídricos por agrotóxicos em áreas de produção de uva**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2017. 26 p.
15. SPADOTTO, C. A. Screening Method for Assessing Pesticide Leaching Potential. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 12, p. 69-78, 2002.