

## COMPARAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS DE LIXIVIAÇÃO DO AGROTÓXICO DIURON NA SUB BACIA DO BAIXO NATUBA, MUNICÍPIO DE VITÓRIA DE SANTO ANTÃO - PE

Jonathas Gomes de C. Marques<sup>1\*</sup>, Marília Regina C. C. Lyra<sup>2</sup>, Renata Maria C. M. de O. Carvalho<sup>3</sup>, Rogéria M. do Nascimento<sup>3</sup>, Thayná M. Saatman<sup>4</sup>, Mariana V. Coronel<sup>5</sup>, Arnaldo Henrique de O. Miranda<sup>1</sup>, José Antônio A. Silva<sup>6</sup>

1. Mestrando em Gestão Ambiental (MPGA) – IFPE
2. Professora do Mestrado Profissional em Gestão Ambiental (MPGA) – Orientadora
3. Professora do curso de graduação em Gestão Ambiental – IFPE
4. Graduada em Gestão Ambiental - IFPE
5. Aluna do curso em Segurança do Trabalho/Bolsista PIBIC Técnico – IFPE
6. Professor do Mestrado Profissional em Gestão Ambiental (MPGA) – IFPE e UFRPE

### Resumo:

A contaminação por agrotóxicos é uma temática recorrente na literatura científica, haja vista as externalidades apontadas como consequência de seu uso indiscriminado no meio ambiente que vem atingindo o ser humano. A região da sub bacia do baixo rio Natuba, município de Vitória de Santo Antão – PE tem presenciado esse uso exarcebado e inconsequente dos agrotóxicos.

Este estudo objetivou comparar os principais modelos matemáticos de lixiviação para o princípio ativo Diuron na aferição da sua potencialidade de contaminação na comunidade do baixo rio Natuba. Para tanto, foram utilizados os índices LIX, GUS, RLPI e o software ARAQUÁ.

Por meio das comparações, percebeu-se uma similaridade nos resultados dos índices LIX, GUS e RLPI, comprovando um potencial de lixiviação e, conseqüentemente, risco de contaminação das águas subterrâneas, valor que diferiu apenas no ARAQUÁ que mostrou uma concentração do princípio ativo, na simulação para as condições estudadas, dentro dos padrões de qualidade.

**Palavras-chave:** Modelagem matemática; horticultura; águas subterrâneas.

**Apoio financeiro:** IFPE

### Introdução:

A contaminação ambiental por agrotóxicos vem sendo cada vez mais discutida na literatura científica e não científica tendo em vista a gravidade com que suas consequências tem sido externalizadas no meio ambiente, o que inclui o ser humano.

Já foi comprovada em diversas regiões do globo essa contaminação que afeta águas superficiais, subterrâneas, solo, além do próprio homem (MOREIRA et al., 2012; BEKETOV et al., 2013; HUANG et al., 2013; TEKLU et al., 2015).

A situação também é visível em diversas regiões do Brasil. Dessa forma, o presente estudo aborda a bacia do baixo rio Natuba, localizada no município de Vitória de Santo Antão – PE que, segundo Marques et al. (2013), é considerada o cinturão verde do estado fazendo alusão ao fato de seu destaque na produção de hortaliças para a circunvizinhança.

Vários estudos já confirmaram o manejo inadequado dos agrotóxicos nessa localidade de expressivo valor social e econômico para Pernambuco (RODRIGUES, 2006; MARQUES et al., 2013; NASCIMENTO, 2013; SAATMAN, 2016).

Nascimento (2013) apresentou uma lista dos produtos e seus respectivos ingredientes ativos mais utilizados em Vitória de Santo Antão. Dentre eles está o princípio ativo Diuron, presente na formulação de três marcas de agrotóxicos da referida lista (Herburon WG, Diuron Nortox 500 SC, Velpak k® WG).

Trata-se de um poluente persistente em solo, águas superficiais e subterrâneas, conforme estudos, além de ser tóxico para mamíferos, pássaros e invertebrados

aquáticos. Outro problema é a também persistência da substância fruto de sua biodegradação (GIACOMAZZI; COCHET, 2004).

Para prever como os agrotóxicos podem se comportar no meio ambiente, foram criados diversos modelos matemáticos que fazem uso de algumas características deles e do meio ambiente. Alguns dos mais utilizados pelos pesquisadores são os índices de *Groundwater Ubiquity Score* - GUS (GUSTAFSON, 1989), *Leachability Index* - LIX (SPADOTTO, 2002), *Relative Leaching Potential Index* - RLPI (HORNSBY et al., 1993).

Além desses, no Brasil a Embrapa criou um software chamado ARAquá (SPADOTTO et al., 2010) que é utilizado pelo IBAMA para avaliações ambientais e que gera um índice para a potabilidade da água subterrânea, comparando-a com os padrões vigentes.

Frente ao exposto, o presente estudo teve como objetivo a comparação dos índices de lixiviação com relação ao princípio ativo Diuron de modo a classificá-lo quanto ao seu potencial de lixiviar para as águas superficiais e subterrâneas.

### Metodologia:

A bacia do rio Natuba se situa na zona fisiográfica Litoral / Zona da Mata, mesorregião da Mata pernambucana. Localiza-se nas coordenadas de latitude 8° 07' 05"s e longitude 35° 17' 29" W /GR, distando 56 km da capital do estado (IBGE, 2010).

Ela é sub bacia do rio Tapacurá, importante para o abastecimento da região metropolitana do Recife e se divide em alto, médio e baixo Natuba. O recorte desse estudo se deu na parte baixa dessa bacia, que está integralmente estabelecida no município de Vitória de Santo Antão (SILVA, 2006).

O uso majoritário dessa parcela da bacia hidrográfica é para a produção de hortaliças folhosas com uso exarcebado dos agrotóxicos pela agricultura familiar. Os produtos são destinados para a venda na própria região e na Ceasa-Recife.

Dessa forma, o presente estudo se estruturou em quatro etapas. A primeira etapa ocorreu com uma ampla revisão bibliográfica no tocante à temática em estudo, a saber: contaminação ambiental por agrotóxicos e modelagem matemática. Posteriormente, para avaliar o potencial de contaminação das águas subterrâneas, foram aplicados alguns dos índices ou modelos matemáticos analíticos mais utilizados pra esse fim, a saber: índices

de LIX, GUS, RLPI e o software ARAquá.

Todos as fórmulas dos índices e o programa ARAquá puderam ser facilmente encontrados na literatura, no caso dos primeiros, e baixado no site da Embrapa de forma gratuita, no caso do último.

A base matemática dos três modelos listados acima é calculada a partir das seguintes equações na ordem em que eles foram citados anteriormente:

$$\text{LIX} = \exp(-k \cdot K_{oc}) \quad (1)$$

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

$$\text{RLPI} = 10 * (K_{oc} / T_{1/2}) \quad (3)$$

Em que  $k$  é a taxa de degradação de primeira ordem do pesticida em  $\text{dia}^{-1}$ ,  $K_{oc}$  é o coeficiente de adsorção ao carbono orgânico e  $T_{1/2}$  é a meia vida do produto no solo.

Já, no que se refere ao ARAquá, ele é baseado em um conjunto de equações propostas por Rao et al. (1985) e Rao et al. (1976). As duas principais equações (Fator de Atenuação – AF e Fator de Retardamento – RF) estão descritas a seguir (SPADOTTO, 2010).

$$\text{AF} = \exp(-tr \cdot k) \quad (4)$$

$$\text{RF} = 1 + [\text{BD} \cdot \text{OC} \cdot \text{Koc}] / \text{FC} \quad (5)$$

Em que  $tr$  é o tempo de percurso,  $k$  é a taxa de degradação de primeira ordem do pesticida em  $\text{dia}^{-1}$ ,  $BD$  é a densidade do solo,  $OC$  a fração de carbono orgânico do solo,  $FC$  a capacidade de campo do solo e  $K_{oc}$  o coeficiente de adsorção ao carbono orgânico.

Posteriormente, com o conhecimento adquirido, extraiu-se do trabalho de APAC (2010), Menezes (2010), Barbosa Neto et al. (2011), Nascimento (2013), Souza et al. (2013), Oliveira (2014) os dados solicitados pelos modelos matemáticos.

Por último, procedeu-se a comparação dos resultados dos quatro índices de modo a saber qual a previsão de contaminação deles para o agrotóxico Diuron em águas subterrâneas com foco na sub bacia do baixo rio Natuba.

### Resultados e Discussão:

O princípio ativo analisado (Diuron) é herbicida do grupo químico da Ureia com classificação toxicológica III (ANVISA, 2017).

As estimativas dos índices referentes a ele foram calculadas e estão alocadas no quadro 01.

**Quadro 01** - Índices de lixiviação para o princípio ativo Diuron na subbacia do rio

## Natuba, Vitória de Santo - Pernambuco

LIX	GUS	ARAquá	RLPI
0,02	2,58	$1,86 \cdot 10^{-41}$	53,33
Lixívia	Zona de transição	Atende aos padrões de qualidade	-

Esse princípio ativo, presente em diversas formulações de agrotóxicos, apresenta a capacidade de lixiviar conforme o índice de LIX, tendo em vista que apresenta valor acima ou igual a 0,01 em uma escala que varia de 0 a 1.

Já, pelo índice de GUS apresenta valor 2,58 o que indica está na zona de transição, uma vez que se apresenta na faixa de  $1,8 \leq \text{GUS} \leq 2,8$ .

Por sua vez, o RLPI não tem uma escala previamente definida, tendo em vista ser um índice relativo. Segundo Hornsby et al. (1993), quanto menor o valor, maior será o potencial de lixiviação do produto.

Apesar desse fato, os resultados encontrados para o Diuron nos índices de GUS e RLPI coadunam com os resultados encontrados por Nascimento (2013) que ratifica a capacidade deste produto obter médio potencial de lixiviação para o índice GUS e alta taxa no RLPI.

No caso em tela, a autora comparou diversos agrotóxicos e percebeu a alta potencialidade pelo RLPI frente aos outros ingredientes ativos analisados.

No que lhe diz respeito, o índice do ARAquá ( $1,86 \cdot 10^{-41}$ ) trata da concentração estimada do poluente na água subterrânea dada as condições da localidade do baixo Natuba em  $\mu\text{g l.a/L}$  e atendeu aos padrões de potabilidade.

Foi possível perceber que os resultados se encaminharam em uma mesma direção confirmando a potencialidade de contaminação ambiental do Diuron, a exceção do ARAquá que indicou que a utilização deste produto no quantitativo atual de consumo possibilitaria atender aos padrões de qualidade. Esse resultado é devido à baixa utilização deste IA se comparado aos outros no mesmo município.

Nesse contexto, os índices servem como um bom indicador ou sinalizador de modo a alertar os atores sociais pertinentes para uma mudança de atitude no que tange ao uso de agrotóxicos.

**Conclusões:**

Diante dos resultados encontrados por meio dos modelos matemáticos e da comparação entre eles, percebeu-se que os índices de LIX, GUS e RLPI indicaram, em suas escalas próprias, o risco de contaminação desse princípio ativo para as águas subterrâneas.

Estes três caminharam para resultados semelhantes, tendo em vista a utilização de dois *inputs* em comum, a saber: meia vida do produto em dias no solo ( $T_{1/2}$ ) e coeficiente de adsorção ao carbono orgânico ( $K_{oc}$ ).

Todavia, o valor gerado pelo software ARAquá diferiu, principalmente pelo fato de alocar mais dados que os primeiros a respeito dos agrotóxicos inserindo também dados no que tange à localidade e sobre o solo da região a ser modelada.

Esse fato associado a recorrente sinalização da comunidade acadêmica acerca do cenário preocupante na comunidade do baixo rio Natuba, vem indicando a necessidade de ações de gerenciamento ambiental efetivo e eficaz que possam modificar essa situação.

A utilização desses e de outros índices e modelos matemáticos disponíveis na literatura são importantes aliados para um maior entendimento desse cenário e podem ser utilizados para o gerenciamento ambiental da utilização destes ingredientes ativos na produção agrícola.

**Referências bibliográficas**

- BARBOSA NETO, M. V.; SILVA, C. B.; ARAÚJO FILHO, J. C.; ARAÚJO, M. S. B.; BRAGA, R. A. P.. Uso da terra na bacia hidrográfica do rio Natuba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 04, n. 05, 2011. p. 961-973.
- GIACOMAZZI, S.; COCHET, N.. Environmental impact of diuron transformation: a review. **Chemosphere**, v. 56, n. 11, 2004. p. 1021-1032.
- GUSTAFSON, D. I.. Groundwater Ubiquity Score: a simple method for assessing pesticide leachability. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 08, 1989. p. 339-357.
- HORNSBY, A. G.; BUTTLER, T. M.; BROWN, R. B.. Managing pesticides for crop production and water quality protection: practical grower guides. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 46, n. 1/4, 1993. p. 187-196.

MARQUES, J. G. C. M.; NASCIMENTO, R. M.; LYRA, M. R. C. C.; CARVALHO, R. M. C. M. O.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, J. A.; SILVA, J. C.. O manejo de agrotóxicos por produtores rurais de hortaliças na sub bacia do Natuba, município de Vitória de Santo Antão – PE, Brasil. **Cientec**, v. 05, n. 01, 2013. p. 10-22.

MENEZES, J. B.. **Levantamento das bases de dados da bacia do rio Natuba – PE**: estudo de caso da pedologia, geomorfologia e cobertura vegetal. 2010. 67 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

NASCIMENTO, R. M.. **Impactos dos agrotóxicos na contaminação ambiental da produção de hortaliças no baixo rio Natuba, Pernambuco**. 2013. 167 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

OLIVEIRA, L. M. M.. **Estimativa de evapotranspiração real por sensoriamento remoto na bacia do rio Tapacurá – PE**. 2014. 136 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

RODRIGUES, J. E. C.. **Uso de agrotóxicos e seu impacto na saúde do trabalhador rural no município de Vitória de Santo Antão – PE**: um estudo de caso. 2006 110 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental), Instituto Tecnológico de Pernambuco, Recife, 2006.

SILVA, C. E. M.. **Uso e ocupação do solo nas áreas de preservação permanente da bacia hidrográfica do Natuba, afluente do Tapacurá-PE**. 2006. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

SAATMAN, T. M.. **Avaliação da qualidade da água subterrânea em área de cultivo de hortaliça em relação à contaminação por agrotóxico**. 2016. 51 f. Monografia (Graduação em Tecnologia em Gestão Ambiental), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Recife, 2016.

SPADOTTO, C. A.. Screening method for assessing pesticide leaching potential. **Pesticidas**: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente, v. 12, 2002. p. 69-78.

SPADOTTO, C. A.; MORAES, D. A. C.;

BALLARIN, A. W.; LAPERUTA FILHO, J.; COLENCI, R. A.. **ARAQUÁ – software de avaliação de risco ambiental de agrotóxico**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 15 p.