

## Aplicação do Índice Avaliação do Risco de Contaminação da Água por Pesticidas (ARCA) com o Uso de Sensoriamento Remoto

*Application of the Index Evaluation of Risk of Water Contamination with Pesticides (ARCA) with the Use of Remote Sensing*

Maíra Guarlott Weis<sup>1</sup> , Lucas Balsan<sup>1</sup> , Bianca Harumi Yamaguti Garcia<sup>1</sup> ,  
Nataliny Danila de Aquino Carlos Umgaro<sup>1</sup> , Mayara Oliveira Da Silva<sup>1</sup> ,  
Camila Leonardo Miotto<sup>1</sup> , Valéria Cristina Menezes Berrêdo<sup>2</sup> ,  
Vera Antunes de Lima<sup>3</sup>  & Domingos Sávio Barbosa<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Universidade Federal de Rondonópolis, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas - ICAT, Rondonópolis, MT, Brazil

<sup>2</sup> Universidade Federal de Rondonópolis, Instituto de Ciências Exatas e Naturais - ICEN, Rondonópolis, MT, Brazil

<sup>3</sup> Universidade Federal de Campina Grande-UFCG/PB, Centro de Ciências e Tecnologia - Campus II, Departamento de Engenharia Agrícola, Campina Grande, PB, Brazil

E-mails: mairaweis@gmail.com; lucasbalsan@gmail.com; bianca.yg@hotmail.com; nataliny.danila@gmail.com;

mayara\_eaa@hotmail.com; camila.miotto@ufr.edu.br; valberredo@hotmail.com; antuneslima@gmail.com; domingosbar@gmail.com

### Resumo

Como o nome indica, este índice estima o risco de contaminação da água decorrente do uso de pesticidas, permitindo a análise de alternativas para sua redução. Para isso, utiliza dois indicadores: o potencial de contaminação do pesticida e a vulnerabilidade ambiental do sítio. Nesse sentido, objetivou-se neste estudo a aplicação de tal metodologia em uma área de produção com predominância da agricultura familiar, com adaptações da metodologia original dada a aplicação de geotecnologias. Alguns parâmetros e indicadores foram implementados conforme a aplicabilidade da construção teórica em campo, como a aquisição das condições ambientais e a utilização de sistemas de informações geográficas. O enfoque dos princípios ativos como variável na pesquisa de campo permitiu o cálculo de risco de contaminação da água por agrotóxicos com um modelo que atinge indicadores de fácil obtenção, podendo ser utilizado como uma importante ferramenta na gestão de recursos hídricos e no planejamento e uso sustentável dos recursos naturais. A partir da análise dos dados, poderão ser elaborados indicadores para o potencial de contaminação ambiental, permitindo a aplicação de tal método em outras áreas, servindo de base para outras pesquisas.

**Palavras-Chave:** Análise de risco ecológico; vulnerabilidade ambiental; geotecnologias

### Abstract

The Pesticide Water Contamination Risk Assessment (ARCA) index estimates the risk of contamination of the water from the use of pesticides, allowing the analysis of alternatives for its reduction. To do so, it uses two risk indicators of pesticide contamination: the potential for pesticide contamination and the environmental vulnerability of the site. In this sense, the objective of this study was the application of such methodology in an area of production with predominance of family agriculture, with adaptations of the original methodology given the application of geotechnologies. Some parameters and indicators were implemented according to the applicability of theoretical construction in the field, such as the acquisition of environmental conditions and the use of geographic information systems. The focus on the active principles as a variable in the field research allowed the calculation of the risk of contamination of water by pesticides with a model that reaches easily obtainable indicators and can be used as an important tool in the management of water resources and in the planning and sustainable use of natural resources. From the analysis of the data, indicators can be elaborated for the potential of environmental contamination, allowing the application of such method in other areas, serving as the basis for other research.

**Keywords:** Ecological risk analysis; environmental vulnerability; geotechnologies

## 1 Introdução

No Brasil, o setor agrícola responde por significativa parcela do PIB (Produto Interno Bruto), sendo essencial para a economia do país. A exemplo, em 2019, as atividades geradas pelo agronegócio corresponderam a 21,4% do PIB brasileiro, sendo desse total, 68% correspondentes ao ramo agrícola (CNA Brasil 2020). Na mesma proporção da importância, encontra-se o potencial de impacto ambiental em função dos processos decorrentes do uso e ocupação da terra, dos resíduos dos insumos (como agrotóxicos e fertilizantes) e demais processos relacionados à cadeia produtiva. Tais impactos afetam diretamente a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, especialmente pela contaminação por agrotóxicos (Soares & Porto 2007).

O alto potencial intrínseco destes compostos para atingirem os corpos hídricos gera um determinado grau de exposição ao meio biótico, que podem desencadear processos, como ecotoxicificação, bioacumulação, bioconcentração e biomagnificação (Gray 2002; Arnot & Gobas 2006).

Apesar do uso de pesticidas no Brasil estarem relacionados à produção das grandes *commodities* agrícolas, como a soja, o milho, o algodão, a cana-de-açúcar, o tabaco e de algumas frutas no modelo de produção do agronegócio, é importante considerar a relevância da utilização desses produtos também pelos agricultores familiares, visto que são agentes produtivos desse setor que abastece grande parte das frutas e hortaliças consumidos diariamente (Araujo & Oliveira 2017).

As exigências dos consumidores sobre a qualidade estética dos produtos agrícolas e as pressões do mercado determinam a demanda para o uso de pesticidas na produção de alimentos. Para o produtor agrícola, são considerados elementos essenciais para prevenção de déficits econômicos frente às adversidades e incertezas que rodeiam a atividade agrícola, especialmente para produtor descapitalizado. Por este ponto de vista, a maioria dos produtores rurais aceita minimizar os prováveis riscos à saúde e ao meio ambiente em face ao risco econômico relacionado às perdas na produção, o que dificulta a promoção do desuso de pesticidas na lavoura (Guivant 2001).

O índice de avaliação do risco de contaminação da água por pesticidas (ARCA) propõe estimar o risco de contaminação da água decorrente do uso de pesticidas em uma gleba ou bacia hidrográfica. Permite ainda que seja analisada a efetividade de alternativas para a redução do uso de agrotóxicos (Chaves & Souza 2015).

Portanto, o objetivo deste trabalho consiste na aplicação do índice ARCA em uma área de estudo na região dos municípios de Campo Verde e Santo Antônio de Leverger, MT, tendo como parâmetro a pesquisa

desenvolvida por Chaves & Souza (2015), discutindo potencialidades e repercussões do índice ARCA em uma área de produção predominante de agricultura familiar, com algumas adaptações na metodologia original dada a utilização de geotecnologias para análise de componentes do índice.

## 2 Materiais e Métodos

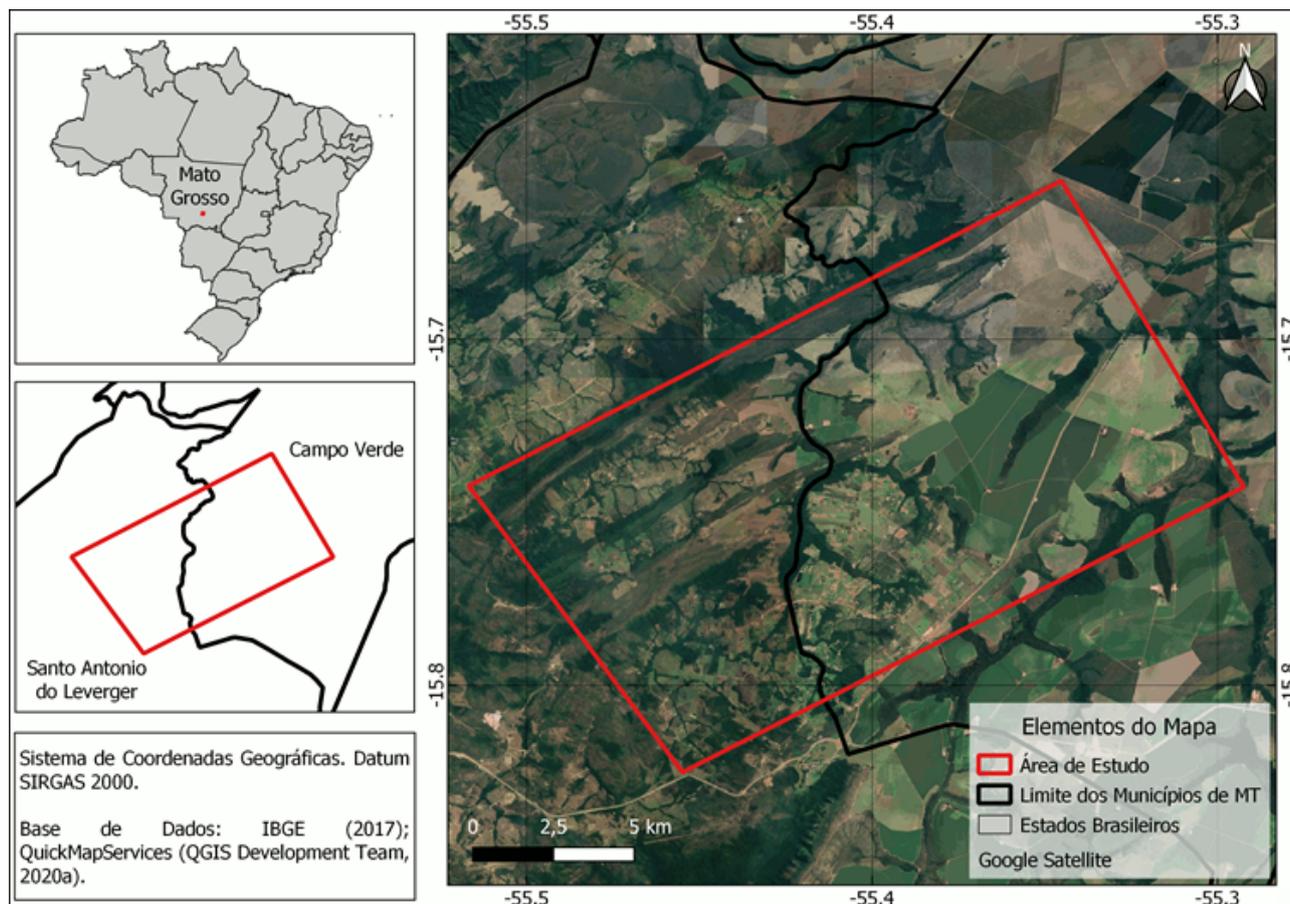
### 2.1 Área de Estudo

A área de estudos localiza-se entre os municípios de Campo Verde e Santo Antônio de Leverger, no Estado de Mato Grosso (Figura 1). A área possui corpos d'água perenes, destacando-se o Córrego do Bigorna (vazão média 0,045 m<sup>3</sup>/s) e o Córrego Aricá (vazão média 0,028 m<sup>3</sup>/s), além de seus efluentes. Os assentamentos da região são considerados como os importantes centros de produção de hortaliças do estado e adotam o sistema de agricultura convencional, sendo responsável por cerca de 40% da demanda de hortaliças da capital mato-grossense, Cuiabá, além de abastecer outros municípios da região (Pereira et al. 2017).

### 2.2 ARCA - Modelo de Avaliação e Manejo do Risco de Contaminação da Água por Pesticidas

Desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília (UnB), a Avaliação de Risco de Contaminação da Água por Pesticidas (ARCA) é um índice, baseado em um modelo matemático que permite aos produtores rurais uma redução de até 42,7% nos riscos de contaminação de água pela utilização de pesticidas. Esta análise permite avaliar a ameaça ao lençol freático que abastece os municípios do país (Costa 2011).

O índice ARCA foi desenvolvido para aplicações em escala de lavoura ou bacia hidrográfica e utiliza dois indicadores para o cálculo do risco (R) de contaminação por pesticidas: o potencial de contaminação do pesticida (Pc) e a vulnerabilidade ambiental do sítio (V). A vulnerabilidade ambiental está relacionada ao grau de sensibilidade intrínseca do sistema natural ao contaminante, enquanto o indicador de potencial de contaminação (Pc) do pesticida visa identificar os parâmetros que explicam o processo de contaminação da água de maneira integrada, considerando dois sistemas hídricos ao mesmo tempo (águas superficiais e subterrâneas), bem como o grau de exposição dos grupos-alvo relevantes (os humanos e ictiofauna). As propriedades físicas, químicas e biológicas dos pesticidas são utilizadas como referência para o cálculo do Pc.



**Figura 1** Mapa de localização da região estudada, região limítrofe entre os municípios de Campo Verde e Santo Antônio do Leverger – MT.

Os detalhes para o cálculo do ARCA estão descritos em Chaves & Souza (2015). Em síntese, o risco de contaminação e a seleção dos parâmetros de validação foram baseados em Hornsby, Wauchope & Herner (1996); Uricchio et al. (2004) e Chaves & Alipaz (2007). Os parâmetros de potencial de contaminação do pesticida ( $P_c$ ), mobilidade do pesticida no ambiente ( $M$ ), persistência do pesticida no campo ( $P$ ) e toxicidade e ecotoxicidade para os grupos-alvo ( $T$ ) foram obtidos com base nas recomendações de Hornsby, Wauchope & Herner (1996), Falconer (2002) e Jaynes (1957).

A vulnerabilidade ambiental ( $V$ ), parâmetro da textura do solo ( $C$ ), parâmetro de distância do centroide ao rio ( $L$ ) e parâmetro de uso do solo ( $S$ ) foram estimados com adaptações de Environmental Protection Agency (1985) e OECD (2003), Cox et al. (1997), Gebhardt et al. (1985) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2003).

O índice estima o risco por meio de escores (pontuação), onde medidas de conservação dos recursos hídricos deverão ser adotadas para minimizar os efeitos da contaminação por pesticidas, substituindo produtos

tóxicos, móveis ou mais persistentes por produtos menos agressivos (Chaves & Souza 2015). São estabelecidos três níveis de mesma amplitude para os diferentes escores (pontuações) e, após o valor final obtido, este é comparado aos valores apresentados pela Tabela 1. No caso de mais de um pesticida aplicado na lavoura, o  $P_c$  é calculado para o pesticida de valor máximo.

Todos os parâmetros foram extraídos e gerados por meio de banco de dados de acesso público. Os dados utilizados foram os de solo, disponíveis gratuitamente na plataforma digital da SEPLAG-MT (Secretaria de Estado de Planejamento e Gestão do Estado de Mato Grosso) (Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação do Estado de Mato Grosso 2001); dados de drenagem, obtidos por meio do processamento de modelo digital de superfície e dados de cobertura e uso do solo, obtidos através de imagens do satélite CBERS-4, sensor WPM, do ano de 2020 (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais 2020). Para o processamento dos dados, empregou-se o QGIS, versão 3.10.9 (QGIS Development Team 2020b), um sistema de informação geográfica (SIG) livre e gratuito.

**Tabela 1** Valores, níveis e escores do potencial de contaminação (Pc). Fonte: Chaves & Souza (2015).

Potencial de Contaminação (Pc)	Nível	Escore
0,00 - 0,83	Baixo	1
0,84 - 1,65	Médio	2
1,66 - 2,5	Alto	3

Para dar início ao cálculo do risco (R), a área de estudo foi subdividida em quadrantes de aproximadamente 200 x 200 m<sup>2</sup> de área, sendo calculado o centroide da mesma. A partir desses centroides foram feitas as análises dos parâmetros de textura do solo (C), distância do centroide ao corpo hídrico mais próximo (L) e uso do solo (S).

Para a quantificação do parâmetro da textura do solo (C), Cox et al. (1997) indicam que existe uma relação entre o coeficiente de adsorção do pesticida (Kf) e o teor de argila no solo. A primeira variável, parâmetro que indica o quantitativo de argila no solo, foi dividida em três níveis de amplitude: i) solos com menos de 30% de argila; ii) entre 30-60% e por fim iii) com esse teor acima de 60%. A estimativa textural do solo foi obtida através do mapeamento de solo da Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação do Estado de Mato Grosso (2001), que se encontram disponíveis gratuitamente em plataforma digital.

Todas as informações necessárias à realização do trabalho foram incorporadas a uma única tabela. Com isso, cada centroide passou a conter as informações de tipo de solo (C), uso do solo (S) e distância até o corpo hídrico mais próximo (L). A partir disso, foi realizado o cálculo da vulnerabilidade ambiental (V) para cada um dos centroides e com os valores obtidos procedeu-se à *krigagem* para estipular os valores de V para toda a área de estudo. Após os cálculos, uma ponderação foi realizada e um novo escore foi atribuído, atendendo à estrutura algébrica apresentada na Tabela 2, adaptada do trabalho de Chaves & Souza (2015).

**Tabela 2** Valores, níveis e escores da vulnerabilidade ambiental (V). Fonte: adaptado de Chaves & Souza (2015).

Vulnerabilidade (v)	Nível	Escore
00 - 04	Baixa	1
04 - 12	Média	2
12 - 27	Alta	3

De acordo com Chaves & Souza (2015), o risco de contaminação é obtido através da multiplicação dos scores de vulnerabilidade (V) e do potencial de contaminação (Pc). Da mesma forma, também apresenta níveis, conforme a Tabela 3.

**Tabela 3** Valores, níveis e escores do risco de contaminação (R). Fonte: adaptado de Chaves & Souza (2015).

Risco	Nível	Escore
00 - 02	Baixo	1
02 - 04	Médio	2
04 - 09	Alto	3

### 3 Resultados e Discussão

A subdivisão da área de estudo em centroides é apresentada na Figura 2. Esta subdivisão criou a base para a espacialização dos dados, permitindo que fossem geradas referências fixas para a análise da área. O método do centroide possibilita a aplicação das coordenadas médias independente da forma geométrica da figura utilizada para subdivisão da área. Foram extraídos os dados relacionados à distância do centroide ao corpo hídrico mais próximo, correspondendo ao parâmetro (L).

Com base nos dados de solo (pedologia) (Figura 3) e de uso do solo (Figura 4), foi possível extrair de cada centroide os dados de uso do solo (S) e da textura do solo (C) para posterior estimativa do teor de argilas, que possui relação entre o coeficiente de adsorção do pesticida (Kf).

Com base no estudo de Berrêdo (2016), foram identificados 60 princípios ativos (P.A) em uso na área, dos quais 14 estão entre os 80% mais frequentes. Em tese, a maioria dos potenciais efeitos adversos sobre os ecossistemas envolvidos no sítio de análise podem estar associados aos P.A. mais utilizados (Figura 5).

O pesticida mais frequente foi o Paraquat (C.A.S 4685-14-17), com potencial de contaminação médio (Escore 2). Contudo, dentro do universo dos 14 mais frequentes, cabe destacar os pesticidas com maiores índices de Pc: Difenconazol (C.A.S. 119446-68-3) (quarto), Azoxistrobina (C.A.S. 131860-33-8) (quinto) e Abamectina (C.A.S. 71751-41-2) (sétimo), como apresentado na Tabela 4.

Uma vez analisadas as características de risco dos pesticidas mais frequentes, faz-se necessária a discussão quanto aos pesticidas mais perigosos, independentemente de sua frequência dentro do total de 60 P.A. identificados. A Tabela 5 apresenta os defensivos agrícolas com potenciais de contaminação (Pc) mais elevados no estudo.

Segundo os dados da Tabela 5, os valores de Pc atingidos ultrapassam os limites estabelecidos pela metodologia (valor de 2,5), o que indica um nível altíssimo de risco. O pesticida com maior potencial de contaminação foi o Carbofurano (C.A.S. 1563-66-2), com um valor estimado em 4,667, quase o dobro do quarto pesticida mais perigoso do conjunto, a Flubendiamida (C.A. S. 272471-65-7) com o valor de 2,82.

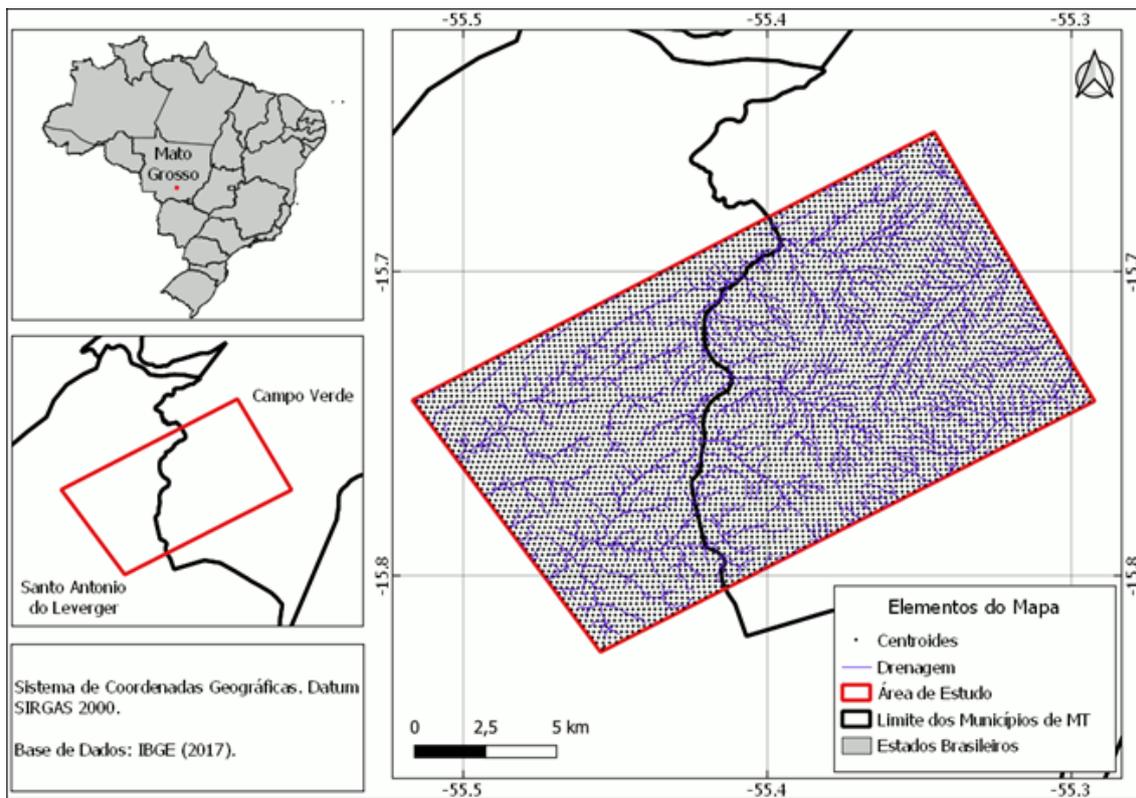


Figura 2 Área de estudo subdividida com os centroides gerados.

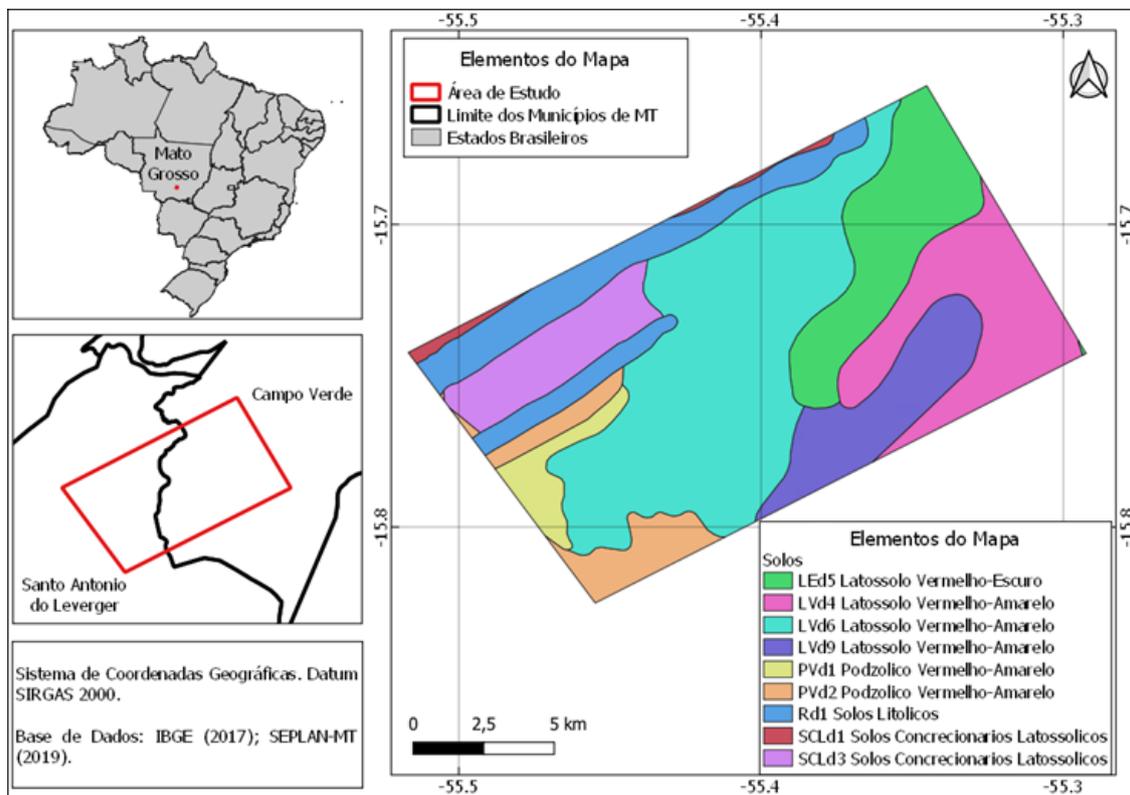


Figura 3 Mapa dos tipos de solo identificados na área de estudo.

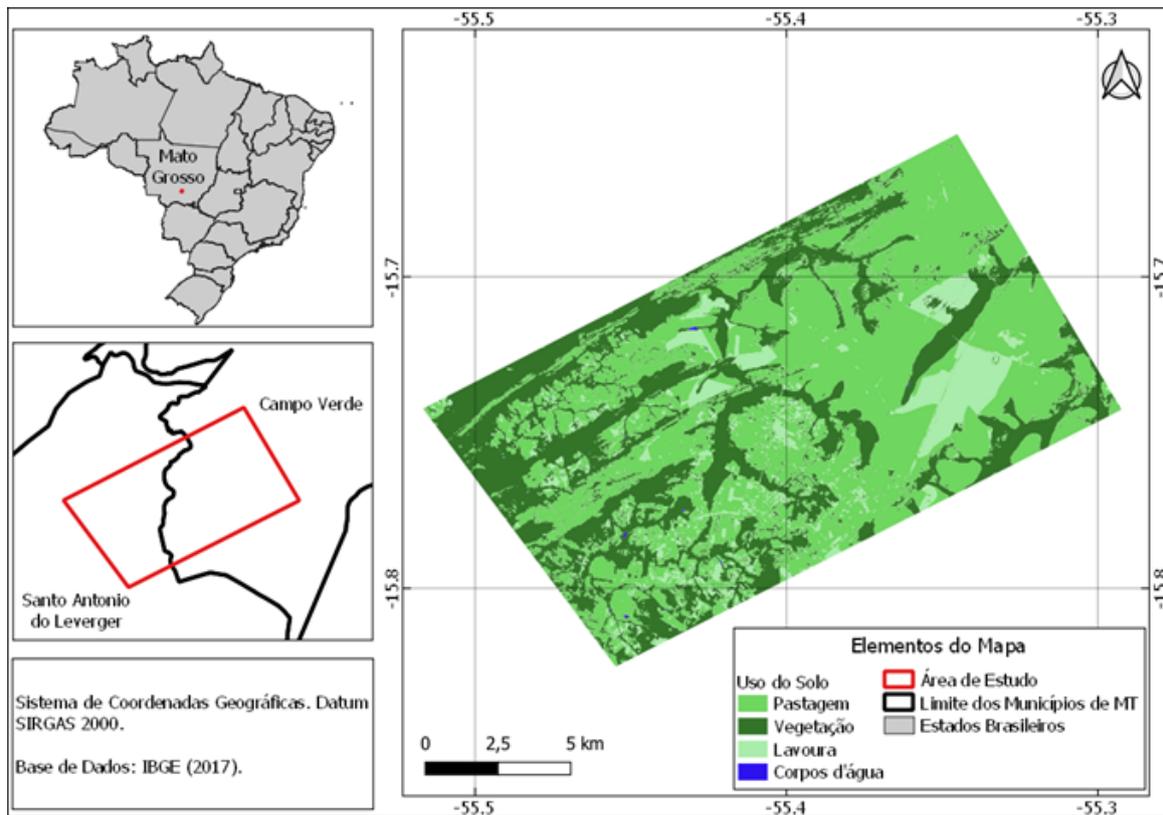


Figura 4 Mapa de uso do solo da área de estudo.

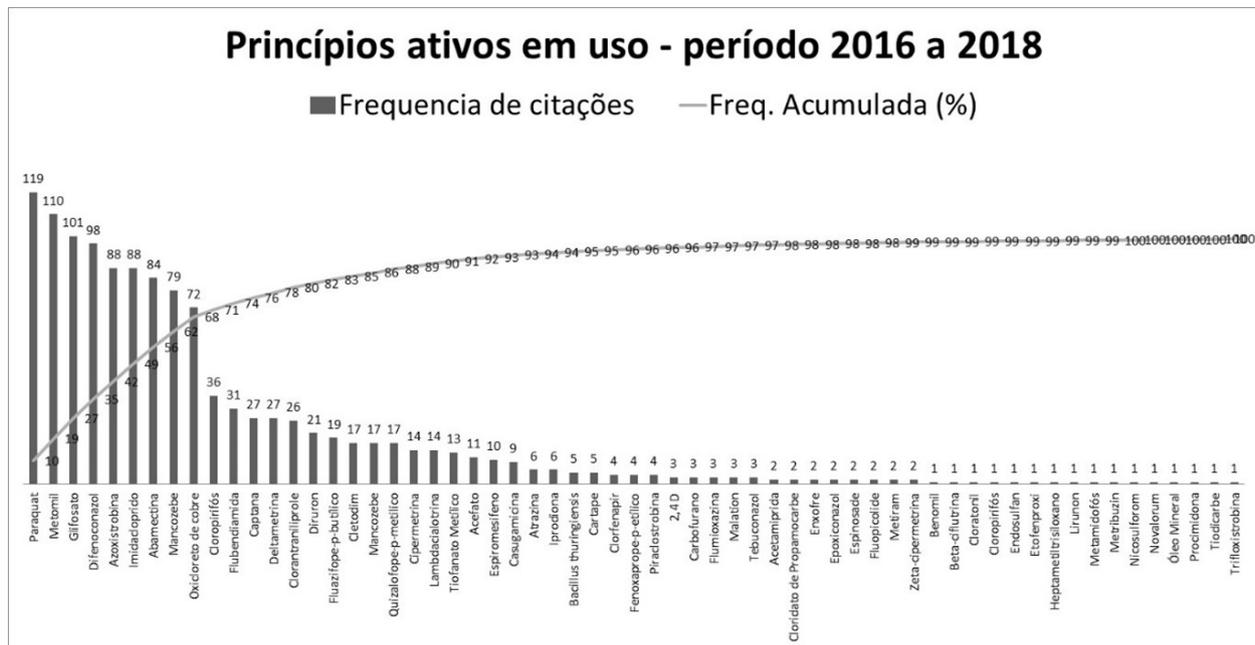


Figura 5 Pesticidas mais utilizados no local de estudo pelo Diagrama de Pareto. Modificado de Berrêdo (2016).

**Tabela 4** Princípios ativos, níveis e escores dos parâmetros para os quatro pesticidas com maior frequência de uso e seus respectivos potenciais de contaminação.

Produto	M	P	T1	T2	Pc	Nível	Escore
Paraquat	0,17	3,48	2,72	2,39	1,48	Médio	2
Difeconazol	0,28	2,11	3,95	2	1,76	Alto	3
Azoxistrobina	0,36	1,39	4,32	0,69	1,72	Alto	3
Abamectina	0,27	1,46	7,44	2,30	1,89	Alto	3

**Tabela 5** Produtos, níveis e escores dos quatro pesticidas com o maior potencial de contaminação (Pc) calculado para a área de estudos.

Produto	M	P	T1	T2	Pc	Nível	Escore
Carbofurano	0,745	1,462	4,745	3,824	4,667	Altíssimo	3
Zeta-Cipermetrina	0,479	1,690	7,161	1,398	3,468	Altíssimo	3
Clorpirifós	0,267	2,587	5,602	3,000	2,974	Altíssimo	3
Flubendiamida	0,299	2,699	5,222	1,770	2,823	Altíssimo	3

Segundo Milhome et al. (2009), o Paraquat é muito solúvel em água ( $620.000 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e de volatilidade muito baixa, podendo permanecer mais tempo no ambiente aquático quando este é atingido. No entanto, possui baixa mobilidade em relação a alta capacidade de retenção no solo devido ao elevado coeficiente de adsorção à matéria orgânica, sendo, portanto, mais facilmente retidos e dificilmente transportados pela água.

O Difenconazol, considerando sua persistência típica e toxicidade, com meia vida (P) por volta de 130 dias e a ingestão diária aceitável (DAH) muito baixa ( $0.01 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{d}^{-1}$ ), apresentou um alto índice de potencial de contaminação, com o valor estimado de 1,76, conforme os dados coletados neste estudo. Segundo Trento (2017), o Difenconazol induziu distúrbios à hemostasia e apresentou citotoxicidade sobre eritrócitos humanos.

De acordo com Aljedani (2017), a Abamectina possui tempo letal ( $LD_{50}$ ) mais rápido em comparação Deltametrina, quando avaliados os efeitos sobre a *Apis mellifera jemenatica* (Hymenoptera: Apidae) em condições laboratoriais, evidenciando um P.A. com risco elevado aos polinizadores.

O Carbofurano é um inseticida, acaricida e nematocida, pertencente ao grupo químico dos carbamatos. Devido a sua ampla utilização, foi detectado em águas subterrâneas, superficiais e da chuva, solos, ar e alimentos (Richards et al. 1987; Waite et al. 1992; Fisher, Galinat & Brown 1999).

O Clorpirifós (C.A.S. 2921-88-2) é um pesticida que pertence à classe dos organofosforados. Dentre os agregados da classe, o composto que mais tem sido estudado, sob a perspectiva da neurotoxicidade durante o

desenvolvimento, é sem dúvida, o clorpirifós (Meyer 2005). Tem sido largamente utilizado no meio urbano, como forma de controle de baratas, cupins, e outros insetos domésticos, e no meio rural, para controle de carrapatos em rebanhos e diversas pragas na agricultura (Agency for Toxic Substances and Disease Registry 1997). A regulamentação é feita pela ANVISA, cuja classificação toxicológica corresponde ao nível II, indicando um produto altamente tóxico (faixa vermelha).

Sob o ponto de vista do risco ecológico, as misturas de dois ou mais pesticidas podem provocar desvios no modelo de ação independente, podendo ser, estes desvios, dependentes da concentração, como relatado nos estudos de Moreira et al. (2017), que detectou antagonismo em baixas concentrações e o sinergismo em altas concentrações de mistura dos pesticidas Abamectina e Difenconazol, que resultou em maior toxicidade que quando testados individualmente sobre a cladóceros *Macrothrix flabelligera*, análogo aos resultados do estudo de Sanches et al. (2017) sobre o peixe *Danio rerio*.

Em relação ao mapa de vulnerabilidade ambiental, observou-se que a maior parte da área estudada apresenta vulnerabilidade ambiental baixa e que os locais com maior índice de vulnerabilidade são aqueles utilizados como lavoura, como pode ser observado na Figura 6.

Com base no mapa de vulnerabilidade ambiental e nos valores do potencial de contaminação, foi gerado o mapa de risco de contaminação da água (Figura 7) considerando os pesticidas Abamectina (mais utilizado) e o Carbofurano (maior potencial de risco), que apresentam (de acordo com a Tabela 1) nível alto de Pc, com score 3.

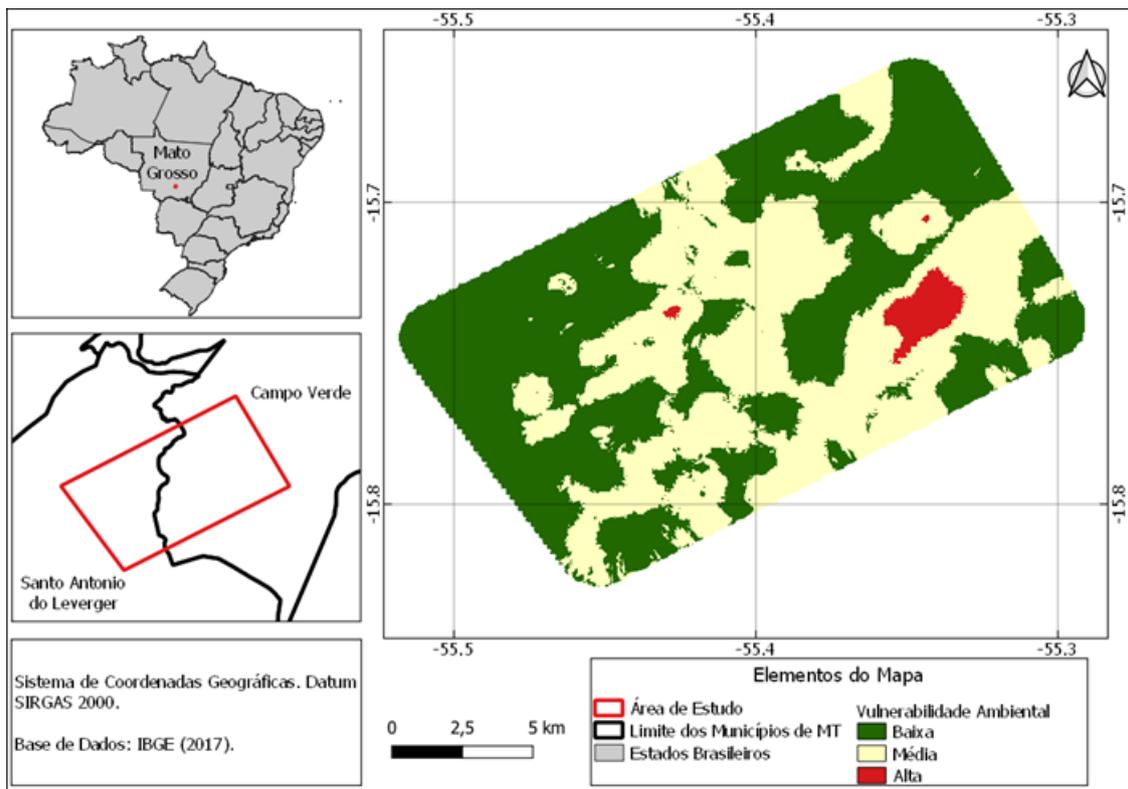


Figura 6 Mapa de vulnerabilidade ambiental da área de estudo.

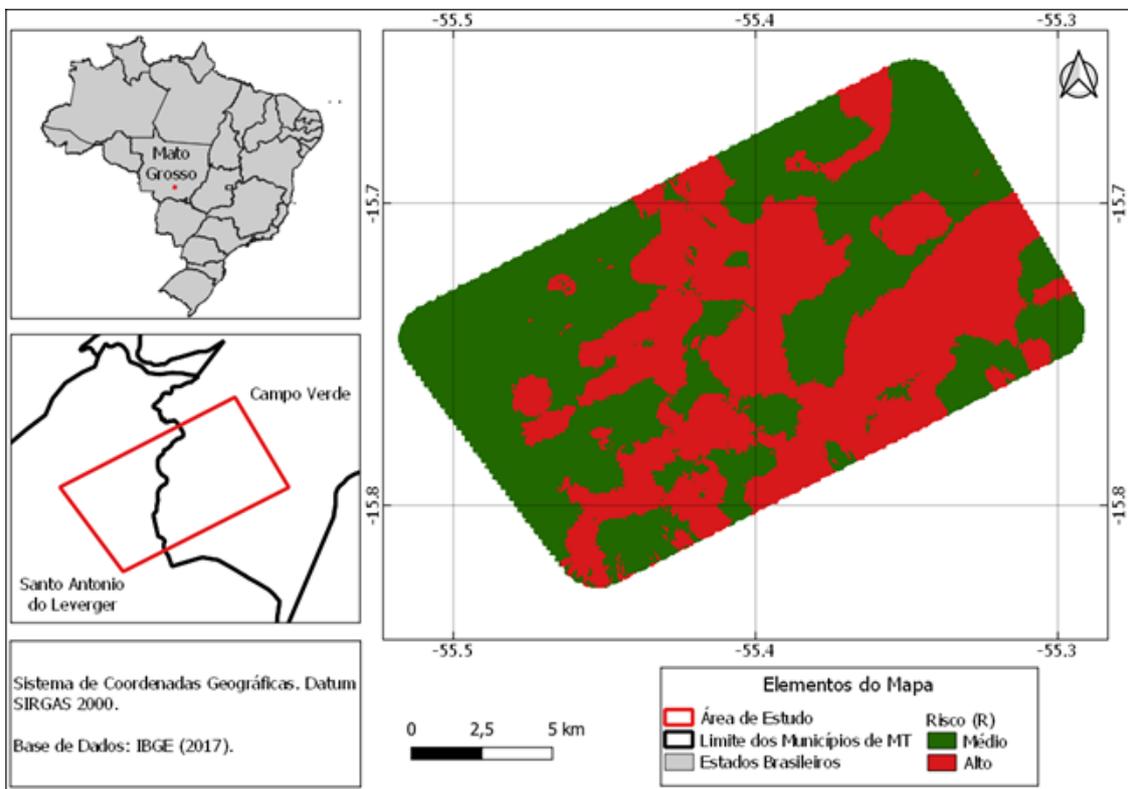


Figura 7 Mapa de risco de contaminação da água por pesticidas considerando o socorre referente ao Abamectina e ao Carbofurano.

Com base na Figura 7, observa-se que não existem áreas com baixo risco à contaminação da água por pesticidas, sendo que 54% da área correspondem ao risco médio e 46% correspondem ao risco alto. Esse resultado traz preocupação, tendo em vista as inúmeras consequências que tal situação pode causar tanto para o homem como para os ecossistemas.

## 4 Conclusão

A partir das considerações, a metodologia empregada serve de suporte para a definição dos indicadores com potencial para a identificação de contaminação ambiental. Isso porque, o enfoque dos pesticidas em questão como variável na pesquisa de campo, permitiu o cálculo de risco de contaminação da água por defensivos agrícolas com um modelo que utiliza indicadores de fácil obtenção, como o ARCA, que pode ser utilizado como uma importante ferramenta na gestão de recursos hídricos e no planejamento e uso sustentável dos recursos naturais empregados em uma localidade.

Tendo em vista, as seguintes conclusões podem ser pontuadas:

- i) A cautela na utilização do Carbofurano, que apesar da baixa frequência de utilização nas propriedades utilizadas (cerca de 2,92%) possui um alto potencial de contaminação de 4,67;
- ii) A atenção para a utilização em larga escala do Paraquat, que apesar do potencial de contaminação médio de 1,48, representa risco aos recursos naturais da região;
- iii) A substituição por pesticidas com menores escores, para gerenciamento do risco.

## 5 Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsas de estudo e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) (Proc. 455836/2014-0) pelo auxílio financeiro.

## 6 Referências

- Aljedani, D.M. 2017, 'Effects of abamectin and deltamethrin to the foragers honeybee workers of *Apis mellifera jemenatica* (Hymenoptera: Apidae) under laboratory conditions'. *Saudi Journal of Biological Sciences*, vol. 24, no. 5, pp. 1007-1015. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.007>>. Acesso em 29 jun. 2018.
- Araujo, I.M.M. & Oliveira, A.G.R.C. 2017, 'Agronegócio e agrotóxicos: impactos à saúde dos trabalhadores agrícolas no nordeste brasileiro', *Trabalho, Educação e Saúde*, vol. 15, no. 1, pp. 117-129. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/1981-7746-sol00043>>. Acesso em 29 jun. 2018.
- Arnot, J.A. & Gobas, A.P.C. 2006, 'A review of bioconcentration factor (BCF) and bioaccumulation factor (BAF) assessments for organic chemicals in aquatic organisms', *Environmental Reviews*, vol. 14, no. 4, pp. 257-297. Disponível em <<https://doi.org/10.1139/a06-005>>. Acesso em 29 jun. 2018.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry 1997, *Toxicological profile for Chlorpyrifos*, U.S. Department of health and human services, Public Health Service. Disponível em <<https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp.asp?id=495&tid=88>>. Acesso em 29 jun. 2018.
- Berrêdo, V.C.M. 2016, 'Percepção de risco à saúde e ao ambiente: Um estudo de caso do uso de agrotóxicos por horticultores familiares de um assentamento do Município de Campo Verde – MT, Brasil', Tese de Doutorado, Universidade Federal de Mato Grosso.
- Chaves, H.M.L. & Alipaz, S. 2007, 'An integrated indicator based on basin hydrology, environment, life, and policy: the watershed sustainability index', *Water Resources Management*, vol. 21, no. 5, pp. 883-895. Disponível em <<https://doi.org/10.1007/s11269-006-9107-2>>. Acesso em 29 jun. 2018.
- Chaves, H.M.L. & Souza, M.A. 2015, 'Índice para a avaliação do risco de contaminação da água por pesticidas: desenvolvimento e validação', *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol. 20, no. 2, pp. 286-297.
- CNA Brasil 2020, *Panorama do Agro*, acesso em 22 fev. 2021, <<https://www.cnabrazil.org.br/cna/panorama-do-agro>>.
- Costa, G. 2011, *UnB desenvolve fórmula matemática que reduz em 43% risco de contaminação da água por uso de pesticida*, Agência Brasil, acesso em 29 jun. 2018, <<http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2011-03-22/unb-desenvolve-formula-matematica-que-reduz-em-43-risco-de-contaminacao-da-agua-por-uso-de-pesticida>>.
- Cox, L., Hermosin, M.C., Celis, R. & Cornejo, J. 1997, 'Sorption of two polar herbicides in soils and soil clays suspensions', *Water Research*, vol. 31, no. 6, pp. 1309-1316.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 2003, *Cultura do algodão no Cerrado. Embrapa: Campina Grande*, acesso em 23 jun. 2018, <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoCerrado/solos.htm>>.
- Falconer, K. 2002, 'Pesticide environmental indicators and environmental policy', *Journal of Environmental Management*, vol. 65, no. 3, pp. 285-300.
- Fisher, S.J., Galinat, G.F. & Brown, M.L. 1999, 'Acute toxicity of carbofuran to adult and juvenile flathead chubs', *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 63, pp. 385-391.
- Gebhardt, M.R., Daniel, T.C., Schweizer, E.E. & Allmaras, R.R. 1985, 'Conservation tillage', *Science*, vol. 230, no. 4726, pp. 625-630.
- Gray, J.S. 2002, 'Biomagnification in marine systems: the perspective of an ecologist', *Marine Pollution Bulletin*, vol. 45, pp. 46-52.
- Guivant, J.S. 2001, 'A agricultura sustentável na perspectiva das ciências sociais' in E.J. Viola, H. Leis, I. Scherer-Warren, J.S. Guivant, P.F. Vieira & P.J. Kriskche (eds). *Meio Ambiente, desenvolvimento e cidadania*. Editora Cortez, pp. 99-133.

- Hornsby, A.G., Wauchope, R.D. & Herner, A.E. 1996, *Pesticide properties in the environment*, Springer, New York.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2017, *Bases Cartográficas Contínuas. Geociências*, acesso em 26 jun. 2018, <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas.html>>.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais 2020, *Imagens de satélite. CBERS-4, sensor WPM. Bandas 1, 2, 3, 4 e P*, acesso em 20 dez. 2020, <[www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore](http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore)>.
- Jaynes, E.T. 1957, 'Information Theory and Statistical Mechanics', *Physical Review*, vol. 106, no. 4, pp. 620-630.
- Meyer, A. 2005, 'Pode a Exposição Humana ao Inseticida Clorpirifós Alterar o Desenvolvimento do Sistema Nervoso Central? Contribuições de Experimentos em Animais', Tese de Doutorado, Fundação Oswaldo Cruz, Centro de Estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana.
- Milhome, M.A.L., Souza, D.D.O.B.D., Lima, F.D.A.F. & Nascimento, R.D. 2009, 'Avaliação do potencial de contaminação de águas superficiais e subterrâneas por pesticidas aplicados na agricultura do Baixo Jaguaribe, CE', *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, vol. 14, no. 3, pp. 363-372. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522009000300010>>. Acesso em 29 jun. 2018.
- Moreira, R.A., Daam, M.A., Vieira, B.H., Sanches, A.L.M., Reghini, M.V., Mansano, A.S., Freitas, E.C., Espindola, E.L.G. & Rocha, O. 2017, 'Toxicity of abamectin and difenoconazole mixtures to a Neotropical cladoceran after simulated runoff and spray drift exposure', *Aquatic Toxicology*, vol. 185, pp. 58-66. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquatox.2017.02.001>>. Acesso em 29 jun. 2018.
- Organization for Economic Co-operation and Development 2003, *Series on pesticides. Number 24. Report of the OECD Pesticide Risk Reduction Steering Group Seminar on Compliance and Risk Reduction*, Paris.
- Pereira, B.P., Nunes, J.R.D.A.S., Nunes, P.A.S.D.A.S., Arruda, N.D., Nunes, A.R.L.G. & Barroso, W.A. 2017, 'Agenda ambiental do projeto de Assentamento Santo Antônio da Fartura', *Revista Gestão Universitária*, vol. 7, pp. 1-18.
- QGIS Development Team 2020a, *QuickMapServices plugin versão 0.19.11.1. QGIS Geographic Information System. Versão 3.10.9. Open Source Geospatial Foundation Project*, acesso em: 20 dez. 2020, <<http://qgis.osgeo.org>>.
- QGIS Development Team 2020b, *QGIS Geographic Information System. Versão 3.10.9. Open Source Geospatial Foundation Project*, acesso em: 20 dez. 2020, <<http://qgis.osgeo.org>>.
- Richards, R.P., Kramer, J.W., Baker, D.B. & Krieger, K.A. 1987, 'Pesticides in rainwater in the northeastern United States', *Nature*, vol. 327, no. 6118, pp. 129-131.
- Sanches, A.L.M., Vieira, B.H., Vanderlei, M., Moreira, R.A., Freitas, E., Espindola, E.L.G. & Daam, M.A. 2017, 'Single and mixture toxicity of abamectin and difenoconazole to adult zebrafish (Danio rerio)', *Chemosphere*, vol. 188, pp. 82-587.
- Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação do Estado de Mato Grosso 2001, *DSEE - Diagnóstico Socioeconômico e Ecológico do Estado de Mato Grosso, Mapa de uso do Solo do Estado de Mato Grosso*, acesso em 20 jun. 2018, <<http://www.dados.mt.gov.br/publicacoes/dsee/pedologia/pedologia/rt/DSEE-PD-RT-004-A001.pdf>>.
- Soares, W.L. & Porto, M.F. 2007, 'Atividade agrícola e externalidade ambiental: uma análise a partir do uso de agrotóxicos no cerrado brasileiro', *Ciência & Saúde Coletiva*, vol. 12, no. 1, pp. 131-143. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/S1413-81232007000100016>>. Acesso em 29 jun. 2018.
- Trento, M.V.C. 2017, *Tebuconazol e difenoconazol: efeitos citogenotóxicos e sobre a homeostasia humana*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras.
- Uricchio, V.F., Giordano, R. & Lopez, N. 2004, 'A fuzzy knowledge-based decision support system for groundwater pollution risk evaluation', *Journal of Environmental Management*, vol. 73, no 3, pp. 189-197.
- Environmental Protection Agency 1985, *Drastic: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings*, EPA/600/S2-85/O18, US-EPA, Chicago.
- Waite, D.T., Grover, R., Wescott, N.D., Sommerstad, H. & Karr, L. 1992, 'Pesticides in ground water, surface water and spring runoff in a small Saskatchewan watershed', *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 11, pp. 741-748.

Recebido em: 01/02/2021

Aprovado em: 10/03/2021

### Como citar:

Weis, M.G.; Balsan, L.; Garcia, B.H.Y.; Umgaro, N.D.A.C.; Silva, M.O.; Miotto, C.L.; Berrêdo, V.C.M.; Lima, V.A. & Barbosa, D.S. 2021. Aplicação do Índice Avaliação do Risco de Contaminação da Água por Pesticidas (ARCA) com o Uso de Sensoriamento Remoto. *Anuário do Instituto de Geociências*, 44: 41262. DOI 1982-3908\_2021\_44\_41262