

MAPEAMENTO DE CENÁRIOS AGRÍCOLAS PARA AVALIAÇÃO DE RISCO AMBIENTAL DE AGROTÓXICOS EM ÁGUA SUPERFICIAL NO CERRADO DO MATO GROSSO DO SUL

Rafael Mingoti¹, Claudio A. Spadotto², Giovanna N. Beraldo³, Laura B. Valle⁴, Mayra A. Brasco⁵, André R. Farias⁶, Elio L. Filho⁷

¹Embrapa Territorial, Av. Soldado Passarinho 303 - CEP: 13070-115 - Campinas-SP, rafael.mingoti@embrapa.br; ²Embrapa, Av. Soldado Passarinho 303 - CEP: 13070-115 - Campinas-SP, claudio.spadotto@embrapa.br; ³Unicamp, Rua Carlos Gomes 250 - CEP: 13083-855 - Campinas, SP, giovanna.n.beraldo@gmail.com; e ⁴Unicamp, Rua Carlos Gomes 250 - CEP: 13083-855 - Campinas, SP, laura.vbutti@gmail.com; ⁵Unicamp, mayrabrasco@gmail.com; ⁶Embrapa Territorial, Av. Soldado Passarinho 303 - CEP: 13070-115 - Campinas-SP, andre.farias@embrapa.br; ⁷Embrapa Territorial, Av. Soldado Passarinho 303 - CEP: 13070-115 - Campinas-SP, elio.filho@embrapa.br

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi mapear bacias hidrográficas com lagos, reservatórios e culturas agrícolas anuais e calcular a relação entre a área de drenagem e a área da superfície dos lagos para subsidiar o estabelecimento de cenários realísticos para avaliação de risco ambiental - ARA de agrotóxicos no bioma Cerrado no estado do Mato Grosso do Sul (MS) Brasil. A identificação de áreas de lavoura de soja e de lagos foi realizada mediante técnicas de identificação visual de imagens de satélite nas bacias hidrográficas geradas pelo modelo ArcSWAT no aplicativo ArcGIS 10.3 e MDE SRTM (3 arcos segundo). Os municípios selecionados foram Maracaju/MS, São Gabriel do Oeste/MS e Costa Rica/MS. Nos lagos mapeados, com exceção de um, os valores da relação de área de drenagem e área de superfície dos lagos foram maiores que o valor de referência, que é de $10 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$.

Palavras-chave — recurso hídrico, contaminação, registro de agrotóxico, SIG.

ABSTRACT

The aim of this paper was to map landscapes with reservoirs and crops and calculate the relation between the watershed area and the reservoirs area to support the establishment of realistic scenarios for environmental risk assessment ERA of pesticides in the Cerrado biome in Mato Grosso do Sul (MS) state. Visual interpretation of satellite images was carried out in the selected municipalities to identify landscapes with soybean crop and reservoirs, using as the basic unit of mapping watersheds generated from SRTM (3 arc-seconds) DEM with ArcSWAT in ArcGIS 10.3. The municipalities selected were Maracaju/MS, São Gabriel do Oeste/MS and Costa Rica/MS. Among the mapped reservoirs, with the exception of one, values of the relation between the watershed area and the reservoir area were greater than the reference value, which is $10 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$.

Key words — water resource, contamination, pesticide registration, GIS.

1. INTRODUÇÃO

A Avaliação de Risco Ambiental (ARA) de agrotóxicos no Brasil, realizada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), para fins de registro de produtos, segue a metodologia da Agência de Proteção Ambiental (EPA) dos Estados Unidos da América (EUA) [1] que é apresentada em detalhes em [2]. Uma das características dessa metodologia é o emprego de quatro níveis (tiers), sendo que o primeiro nível é considerado como o de pior caso e o último como o mais próximo da realidade. Se o produto em avaliação não apresentar riscos no primeiro nível (de pior caso), o produto pode seguir para registro, caso contrário é avaliado no segundo nível e assim sucessivamente.

Uma das informações básicas do processo de ARA de agrotóxicos é o cenário de uso agrícola que o produto é avaliado em cada nível [3]. Considerando que o registro nacional de agrotóxicos segue metodologia praticada por órgão regulador nos Estados Unidos, é possível que sejam geradas importantes distorções no processo de análise, já que as condições edafoclimáticas nacionais são significativamente distintas daquelas existentes no território norte-americano [4].

No emprego da metodologia norte-americana, durante o processo de avaliação e classificação ambiental dos agrotóxicos registrados no país [5], [6] e [7] são analisados parâmetros de apenas três classes de solos brasileiros. No entanto, devido à diversidade de solos e climas do Brasil, é necessária a melhoria da representatividade desses testes [8], o que torna necessária a determinação de cenários que correspondam às condições edafoclimáticas brasileiras.

Na União Europeia (UE) a geração de cenários para ARA de agrotóxicos durante o processo de registro foi amplamente estudada em [9]. Nesse trabalho, o grupo de especialistas descreve a metodologia de ARA de agrotóxicos da UE, visando o risco de contaminação em corpos de água superficiais, onde afirmam que essa metodologia é muito semelhante à adotada pela EPA, diferindo em relação aos cenários adotados em cada nível.

Para o primeiro nível (de pior caso) da ARA de agrotóxicos em água superficial nos EUA e no Brasil adota-se uma área cultivada de 10 hectares localizada ao redor de um “lago padrão” de 1 hectare (10.000m²) de superfície molhada e 2 m de profundidade [10], enquanto que na UE adota-se uma área cultivada ao redor de um lago com área molhada de 10% da área cultivada e profundidade de 30 cm sobre uma camada de sedimentos de 5 cm com teor de carbono orgânico de 8% e densidade global de 0,8 g.cm⁻³ [9].

Como o Brasil não dispõe de um banco de dados com mapeamentos de uso e cobertura da terra em abrangência nacional com a escala necessária e com o detalhamento do uso e cobertura suficiente para ser aplicado na definição de cenários para ARA, bem como não possui informações sobre mapeamento de lagos e de reservatórios artificiais em áreas agrícolas, é fundamental o desenvolvimento de novas metodologias e o levantamento de tais informações.

Visando avaliar a representatividade de cenários de ARA de agrotóxicos em corpos de água superficiais no Brasil, tem-se como objetivo desse trabalho mapear bacias hidrográficas com lagos, reservatórios artificiais e culturas agrícolas anuais e calcular a relação entre a área dessas bacias e a área dos lagos para subsidiar o estabelecimento de cenários de ARA de agrotóxicos no bioma Cerrado no estado do Mato Grosso do Sul (MS), Brasil.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia de identificação de cenários de ARA de agrotóxicos em corpos de água superficiais proposta nesse trabalho foi apresentada por [11]

Utilizou-se os dados de área plantada de soja da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) [12] dos anos de 2012, 2013 e 2014, a base cartográfica com limites municipais do [13] e o mapa de geomorfologia do Brasil [14] e [15], disponível em formato vetorial em [16].

Por meio do aplicativo SIG ArcGIS 10.3, todos os dados geoespaciais de entrada foram convertidos para a projeção cônica equidistante no sistema de referência SIRGAS 2000. Em seguida as informações tabulares de área plantada de soja foram unidas à base cartográfica dos limites municipais e foi realizada a classificação dos municípios brasileiros em função da área predominante de compartimento de relevo conforme o mapeamento do IBGE.

Em seguida foram selecionados três municípios considerando os seguintes critérios: identificação do município de maior área média de soja plantada em cada compartimento de relevo existente nas áreas do bioma Cerrado do estado de Mato Grosso do Sul; e utilização de três compartimentos de relevo classificados em função da área média de soja plantada de seu município identificado no critério anterior.

Para os municípios selecionados realizou-se a divisão em bacias hidrográficas, por meio da utilização do Modelo Digital de Elevação (MDE) do projeto *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) disponibilizados pelo *United*

States Geological Survey (USGS) em seu sítio na internet em formato raster com resolução espacial de 90m e do modelo hidrológico SWAT 2012 em formato de *plug-in* para o aplicativo ArcGIS.

A identificação da existência de áreas de lavoura de soja nas bacias hidrográficas geradas foi realizada mediante o emprego de técnicas de identificação visual de imagens de satélite no aplicativo ArcGIS. Foram utilizadas imagens de satélite das seguintes bases: Mapas-Base do ArcGIS Online; Google Earth; e Open Street Map (OSM). Em termos temporais, a escolha das imagens utilizadas seguiu a ordem de preferência dos anos de 2014, 2013 e 2012, ou então anos mais recentes, quando disponíveis. A interpretação das áreas de lavoura de soja considerou os seguintes aspectos: formas regulares; ausência de sombras; textura aveludada, muitas vezes machetada [17]; tonalidade verde escura e estrutura paralela.

O mapeamento de lagos ou de reservatórios artificiais foi realizado por meio de interpretação visual de imagens de satélite apenas para as bacias hidrográficas identificadas com áreas de lavoura de soja e nas bacias à jusante destas. Para cada lago mapeado gerou-se um polígono por meio do aplicativo ArcGIS e calculou-se a sua área molhada.

Em cada um dos lagos e reservatórios artificiais mapeados determinou-se a área de drenagem correspondente por meio da identificação do fluxo acumulado no talude do lago ou reservatório artificial.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os municípios do bioma Cerrado no estado do Mato Grosso do Sul (MS) selecionados pela metodologia aplicada foram: Maracaju/MS, correspondendo ao compartimento de relevo Planaltos; São Gabriel do Oeste/MS, compartimento de relevo Patamares; e Costa Rica/MS, compartimento de relevo Depressões.

O total de bacias hidrográficas geradas para os municípios selecionados, sua área média e a quantidade destas com presença de cultivos de soja e de lagos ou reservatórios artificiais estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Total e tamanho médio de bacias hidrográficas geradas para os municípios selecionados e quantidade de bacias com presença de lavoura de soja e lagos ou reservatórios artificiais.

Município	Total de bacias hidrográficas geradas	Tamanho médio das bacias hidrográficas (ha)	Bacias hidrográficas com lavoura de soja e lagos
Maracaju/MS	2.855	202,2	43
São Gabriel do Oeste/MS	2.110	174,4	11
Costa Rica/MS	2.315	191,6	7

A localização das bacias hidrográficas com presença de lavoura de soja e lagos ou reservatórios artificiais pode ser observada na Figura 1 e as informações de área dos lagos mapeados e da relação entre a área dessas bacias e a área desses lagos estão apresentadas na Tabela 2.

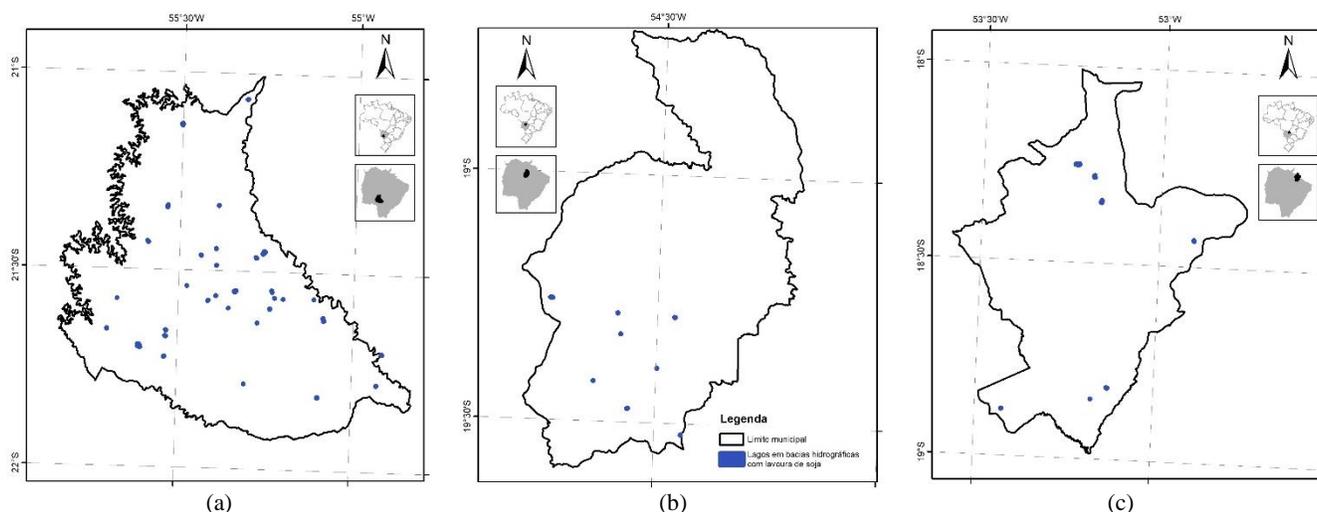


Figura 1. Distribuição dos lagos mapeados em bacias hidrográficas com lavoura de soja, para os municípios de: (a) Maracaju/MS; (b) São Gabriel do Oeste/MS; e (c) Costa Rica/MS.

Tabela 2. Quantidade, tamanho médio da superfície molhada, tamanho médio da área de drenagem, média da relação área molhada e área de drenagem e seus coeficientes de variação para os lagos mapeados em bacias hidrográficas com lavouras de soja nos municípios selecionados.

Município	Lagos mapeados	Superfície molhada dos lagos mapeados (m ²)		Área de drenagem dos lagos mapeados (m ²)		Relação área de drenagem pela superfície molhada dos lagos mapeados (m ² .m ⁻²)	
		Média	CV	Média	CV	Média	CV
Maracaju/MS	43	28.490	262%	12.860.698	195%	4.052	276%
São Gabriel do Oeste/MS	11	7.677	117%	3.713.636	127%	441	109%
Costa Rica/ MS	7	95.095	114%	48.728.571	115%	735	123%

Pode-se observar na Figura 1 que, no município de Maracaju/MS, as bacias com soja e seus respectivos lagos mapeados estão distribuídos ao longo do limite municipal, o que não ocorre nos casos dos municípios de São Gabriel do Oeste/MS e Costa Rica/ MS.

A maior média de superfície molhada dos lagos foi encontrada no município de Costa Rica/MS, que tem predominantemente área de Depressões. Além disso, esse município apresentou o menor valor de CV para essa variável entre todos os municípios que compõem a análise.

Também em Costa Rica/MS foi constatada a maior média de área de drenagem dos lagos, resultado esse que era esperado pois esse município possui as Depressões como compartimento de relevo predominante e, com isso, tende a apresentar uma drenagem mais densa, ou seja, uma menor área de drenagem nas bacias hidrográficas de mesma ordem [18] [19].

Por outro lado, o menor valor da relação de área de drenagem pela superfície molhada dos lagos mapeados foi obtido para o município de São Gabriel do Oeste/MS que possui relevo predominantemente de Patamares, o que pode indicar que os lagos mapeados para esse município estão localizados em cursos d'água de ordens menores do que os dos outros municípios estudados, ou seja, apresentam a

mesma tendência apresentada na análise da área de drenagem.

Em todos os lagos mapeados, com exceção de um no município de Maracaju/MS, os valores da relação de área de drenagem e área de superfície dos lagos foram maiores que o valor de referência, que é de 10 m².m⁻² [10]. A magnitude da diferença observada pode ter sua origem nas diferenças geomorfológicas entre o Brasil e os Estados Unidos da América, local de definição do valor de referência. Entretanto, novos estudos devem ser realizados de modo a verificar a proporção do escoamento superficial ou da infiltração da água no solo ao longo da bacia, o que pode, por sua vez, demandar uma correção nos valores obtidos pelo trabalho aqui apresentado.

Todos os valores de CV obtidos mostram que há uma dispersão muito alta nos dados, segundo classificação indicada em [20], o que pode indicar que não há um comportamento padrão relacionado a ordem de cursos d'água nos quais são construídos lagos ou reservatórios artificiais em áreas com lavoura de soja.

Considerando que a escolha da área do estudo de caso condiciona a observação de apenas uma amostra das condições rurais brasileiras, as informações da Tabela 2 são de que as características do cenário de primeiro nível adotado

pelo IBAMA para ARA de agrotóxicos em corpos de água superficiais podem não corresponder às características predominantes e tão pouco para as características de pior caso realístico das áreas de soja no Brasil.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos do estudo de caso para a cultura da soja no bioma Cerrado do estado do Mato Grosso do Sul indicaram que há diferença entre os cenários predominantes e o cenário de pior caso realístico existentes no Brasil e o cenário de primeiro nível de ARA de agrotóxicos adotado atualmente pelo IBAMA.

É necessária a realização de trabalhos adicionais, abrangendo outras culturas e regiões do Brasil para que, com um conjunto maior de dados, seja possível concluir sobre a necessidade de alteração do cenário de primeiro nível adotado na ARA de agrotóxicos em corpos de água superficiais para diferentes culturas agrícolas e regiões do Brasil.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio recebido do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq – Brasil e da Embrapa Gestão Territorial.

7. REFERÊNCIAS

- [1] IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). *Avaliação de risco ambiental de agrotóxicos no Ibama*. Disponível em: < <http://www.ibama.gov.br/areas-tematicas-qa/avaliacao-ambiental>>. Acesso em 02/06/2016.
- [2] USEPA (United States Environmental Protection Agency). *Guidelines for Ecological Risk Assessment*. U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, DC, EPA/630/R095/002F, 1998. Disponível em: < <http://www.epa.gov/raf/publications/guidelines-ecological-risk-assessment.htm>>. Acesso em 30/05/2016.
- [3] SPADOTTO, C. A. ; SCORZA Jr., Rômulo Penna ; DORES, E.F.G.C. ; GEBLER, L. ; MORAES, D. A. C. . *Fundamentos e aplicações da modelagem ambiental de agrotóxicos*. Campinas (SP): Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010b.
- [4] AMORIM, R.S.S.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F.; MATOS, A.T. Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. *Engenharia Agrícola*. vol.30, n.6, pp. 2010.
- [5] BRASIL. *Lei nº 7.802*, de 11 de julho de 1989.
- [6] BRASIL. *Decreto Nº 4.074*, de 4 de janeiro de 2002.
- [7] IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). *Portaria normativa IBAMA nº 84*, de 15 de outubro de 1996.
- [8] SCORZA JÚNIOR, R.P.; NÉVOLA, F.A.; AYELO, V.S. *ACHA: avaliação da contaminação hídrica por agrotóxico*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2010.
- [9] FOCUS. *FOCUS Surface Water Scenarios in the EU Evaluation Process under 91/414/EEC*. Report of the FOCUS Working Group on Surface Water Scenarios, EC Document Reference SANCO/4802/2001-rev.2. 245 pp. 2001. Disponível em: < <http://viso.ei.jrc.it/focus/sw/doc.html> >. Acesso em 02/06/2016.
- [10] PARKER, R. D.; JONES, R. D.; NELSON, H. P. GENEEC: A screening model for pesticide environmental exposure assessment. In: International exposure symposium on water quality modeling, 1995, Orlando. *Proceedings...* Orlando: American Society of Agricultural Engineers, 1995. p. 485-49.
- [11] MINGOTI, R.; SPADOTTO, C. A.; BRASCO, M. A.; VALLE, L. B.; BERALDO, G. N.; FARIAS, A. R.; LOVISI FILHO, E. Mapeamento de cenários agrícolas para avaliação de risco ambiental de agrotóxicos em água superficial. *Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR*, Santos: INPE, 2017.
- [12] IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). *Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA)*. 2016. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/> >. Acesso em 02/06/2016.
- [13] IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). *Malha Municipal 2013*. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm#TOPO >. Acesso em: 30/05/2016.
- [14] IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). *Relevo do Brasil*. 2ª edição. 2006. Disponível em: < ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/ma-pas/brasil/relevo_2006.pdf >. Acesso em 02/06/2016.
- [15] IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). *Manual técnico de geomorfologia*. IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2009.
- [16] INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais). *Visualizador da INDE*. 2016. Disponível em: < <http://www.visualizador.inde.gov.br/> >. Acesso em 02/06/2016.
- [17] MACHETTI, D.; GARCIA, G. *Princípios de fotogrametria e fotointerpretação*. São Paulo: Editora Nobel, 1986.
- [18] HIRUMA, S.; PONÇANO, W. Densidade de drenagem e sua relação com fatores geomorfológicos na área do alto Rio Pardo, SP e MG. São Paulo: *Revista do Instituto Geológico*, jan/dez 1994. Disponível em: < http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/revista_ig/15_1-2_4.pdf >. Acesso em: 29 mar 2016.
- [19] ALVES, G.; PINHEIRO, M.; QUEIROZ NETO, J. Morfologia e evolução da rede de drenagem no compartimento três cantos, Maracá/SP. Rio de Janeiro: *IX SINAGEO, Anais: Geomorfologia Fluvial*. 2012. Disponível em: < <http://www.sinageo.org.br/2012/trabalhos/2/2-695-104.html> >.
- [20] PIMENTEL GOMES, F. *Curso de Estatística Experimental*. São Paulo: Nobel, 1985. 467 p.