

OCORRÊNCIA DE AGROTÓXICOS EM ÁGUAS USADAS COM IRRIGAÇÃO DE ARROZ NO SUL DE SANTA CATARINA

OCCURRENCE OF PESTICIDES IN WASTEWATER IRRIGATED RICE IN SOUTHERN SANTA CATARINA

Álvaro José Back

Doutor em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), Estação Experimental de Urussanga – Urussanga (SC), Brasil.

Francisco Carlos Deschamps

Doutor em Ciências pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Pesquisador da Epagri, Estação Experimental de Itajaí – Itajaí (SC), Brasil.

Maria da Gloria da Silva Santos

Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Coordenadora de Laboratórios no Instituto de Pesquisas Tecnológicas e Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) – Criciúma (SC), Brasil.

Endereço para correspondência:

Álvaro José Back – Rodovia SC 108, Km 353, 1563 – Estação – 88840-000 – Urussanga (SC), Brasil – E-mail: ajb@epagri.sc.gov.br

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a presença de resíduos de agrotóxicos nas águas superficiais de drenagem das lavouras de arroz irrigado no sistema pré-germinado na região sul de Santa Catarina. Foram analisadas amostras de água coletadas nos canais de irrigação e drenagem de um sistema coletivo de irrigação durante três anos de cultivo. Foram encontrados resíduos de carbofurano em amostras de água de drenagem coletadas nos três anos monitorados, com concentrações de até 5 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. A maioria (81%) das amostras de água superficial das áreas de drenagem das lavouras de arroz irrigado continha resíduos de pelo menos 1 herbicida. Dentre os herbicidas estudados, o bentazona foi identificado em maior frequência (50%), no entanto, também foram encontrados resíduos de bispyribac-sodium, quinclorac e thiobencarb. Entre os fungicidas, destacam-se o tricyclazole, azoxystrobin e tebuonazol. Foram encontrados resíduos do inseticida malathion em 5,2% das amostras, porém, em concentrações abaixo do limite detectável.

Palavras-chave: arroz irrigado; qualidade da água; agroquímicos; herbicidas.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the presence of pesticide residues in surface water drainage from irrigated rice fields in pre-germinated system in southern Santa Catarina, Brazil. We analyzed water samples collected in the irrigation canals and drainage system of a multiuser irrigation system during three growing seasons. Carbofuran residues were found in samples of drainage water collected in the three years of monitoring, with concentrations up to 5 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. The majority (81%) of surface water samples from drainage areas of irrigated rice fields contained residues of at least 1 herbicide. Among the herbicides, bentazone had the highest frequency (50%), however, residues of bispyribac-sodium, quinclorac and thiobencarb were also found. Among the fungicides, tricyclazole, azoxystrobin and tebuonazol were seen. Residues of the insecticide Malathion were detected in 5.2% of the samples, but at concentrations below the detection limit.

Keywords: irrigated rice; water quality; agrochemicals; herbicides.

INTRODUÇÃO

O cultivo do arroz irrigado tem grande importância social e econômica nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, responsáveis por cerca de 70% da área cultivada com arroz de várzea do Brasil (KISCHEL *et al.*, 2011). A orizicultura desenvolvida em sistema de irrigação apresenta produtividade elevada e estável, sendo a principal forma de cultivo adotada nos estados do sul do país (SOSBAI, 2012).

O sistema de plantio pré-germinado é adotado em mais de 96% da área de plantio do estado de Santa Catarina e vem ganhando relevância no Rio Grande do Sul (FREITAS, 2009). Esse sistema tem como vantagens, em relação aos sistemas tradicionais de irrigação, a redução da incidência de plantas daninhas, o efeito termorregulador, a maior disponibilidade de nutrientes no solo para as plantas de arroz e a redução de mão de obra. Apesar dessas vantagens, por ter maior período de irrigação contínua, apresenta como desvantagens o maior consumo de água e a possibilidade de contaminação dos recursos hídricos. Críticos dessa forma de cultivo ressaltam que, com o decorrer do tempo, as vantagens do sistema são suplantadas pelas desvantagens ambientais (PRIMEL *et al.*, 2005). Ao longo das últimas três décadas o cultivo do arroz irrigado apresentou expansão de área cultivada, mudanças no sistema de plantio e também aumento do volume de agrotóxicos destinado à cultura. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) ressalta que, embora o consumo médio dos principais agrotóxicos seja maior no cultivo irrigado do que no de terras altas, observou-se um decréscimo contínuo no consumo desses produtos no cultivo irrigado, o que pode ser atribuído à adoção de técnicas mais adequadas de manejo (SANTOS & RABELO, 2008).

Em toda a área de arroz irrigado de Santa Catarina a adoção do sistema pré-germinado, quando desenvolvido próximo de mananciais, apresenta sérios riscos de contaminação da água pelos agroquímicos.

O grande uso de agrotóxicos no sistema de plantio pré-germinado traz a preocupação com a contaminação dos recursos hídricos, tanto superficiais quanto subterrâneos. Isso pode ocorrer de forma difusa, tornando difícil sua detecção e controle (RIBEIRO *et al.*, 2007). O risco dos agrotóxicos atingirem os mananciais hídricos subterrâneos pode ser determinado pelo transporte descendente, o qual é dependente de fatores climáticos, propriedades do solo, práticas de manejo das lavouras, profundidade do manancial e propriedades físico-químicas dos agrotóxicos (RIBEIRO

et al. 2007; MARCHESAN *et al.*, 2010). Andrade *et al.* (2010) afirmam que no sistema pré-germinado, a drenagem da área irrigada, efetuada após a semeadura, pode desencadear grave problema ambiental, ao mesmo tempo que pode causar perdas dos nutrientes e/ou de herbicidas que estão em suspensão na água de irrigação. Essa drenagem é prejudicial tanto para a rentabilidade do setor orizícola quanto para o ambiente, pois além das perdas de água, podem contaminar os mananciais com nutrientes e agrotóxicos (SCORZA JUNIOR, 2011). Segundo Gasparini e Vieira (2010), nessas áreas as evidências apontam sérios riscos de contaminação dos recursos hídricos, incluindo aqueles disponibilizados para o abastecimento público.

Áreas cultivadas com arroz irrigado tem sido alvo de especulações quanto aos efeitos deletérios dessa cultura sobre a qualidade das águas superficiais (POLEZA *et al.*, 2008; WILSON; WATTS; STEVENS, 2008; GASPARINI & VIEIRA, 2010; SILVA *et al.*, 2011). Segundo Poleza *et al.* (2008), dependendo das condições de precipitação pluviométrica e manejo inadequado da água de irrigação da lavoura, existe o risco dos resíduos dos agroquímicos serem carregados para fora da lavoura, podendo provocar alterações na qualidade da água a jusante desses agroecossistemas. Muitas vezes os herbicidas podem afetar indiretamente os peixes, prejudicando as cadeias alimentares inferiores, uma vez que podem reduzir o fitoplâncton, causando uma consequente diminuição do oxigênio dissolvido e remoção dos compostos nitrogenados da água (COPATTI *et al.*, 2009; MOREIRA *et al.*, 2012). Também podem afetar a percepção química de substâncias naturais de importância ecológica (SAGLIO & TRIJASSE 1998). Segundo Moura, Franco e Matallo (2008), após atingirem os sedimentos, os contaminantes podem ser alterados por diversos processos químicos, físicos e biológicos, que podem aumentar ou diminuir o seu poder tóxico, ou ainda ocasionar a sua deposição e liberação.

Como medida preventiva para diminuir o carregamento de solo, nutrientes e agrotóxicos, há recomendações para ampliar o tempo de retenção da água de irrigação, diminuindo o risco de contaminação dos mananciais hídricos (SOSBAI, 2012). Associando os riscos potenciais ao manejo inadequado, podem surgir conflitos de uso da água, onerando a produção e comprometendo a sustentabilidade social, econômica e ambiental lavoura de arroz (MACEDO *et al.*, 2007). Isso torna-se mais relevan-

te quando o efluente resultante da lavoura é despejado em mananciais utilizados para abastecimento público. A cultura do arroz irrigado é frequentemente considerada responsável pela poluição e degradação dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Araranguá, Santa Catarina (PEREIRA & MARTINS, 2010). A cultura de arroz irrigado constitui-se em atividade de alto potencial poluidor, pois a irrigação aumenta a possibilidade de transporte de agrotóxicos, via água da chuva e drenagem para mananciais hídricos e via lixiviação para os aquíferos.

Este trabalho teve como objetivo determinar a presença de resíduos de agrotóxicos em águas efluentes de um

sistema coletivo de irrigação e drenagem da cultura do arroz cultivado no sistema pré-germinado na região sul de Santa Catarina. A área de estudo utiliza água para a irrigação oriunda da Barragem do Rio São Bento, que é destinada prioritariamente ao abastecimento humano. Como na bacia de contribuição dessa barragem praticamente não existe atividade agrícola, pode-se atribuir toda alteração na qualidade da água e a presença de resíduos de agrotóxicos diretamente à rizicultura. Outro diferencial deste trabalho é a densa amostragem, com frequência de coleta semanal durante todo o período de cultivo por dois anos seguidos, cobrindo uma série de agrotóxicos potencialmente usados no cultivo do arroz irrigado.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na área da Associação de Irrigação e Drenagem Santo Isidoro (ADISI), localizada nos municípios de Nova Veneza e Forquilha, no Sul de Santa Catarina (Figura 1). Essa associação, fundada em 1984 com a finalidade de disciplinar, manter e regular a distribuição de água canalizada aos produtores de arroz, envolvendo 246 sócios que cultivam 2.770 ha de arroz irrigado. A água utilizada na irrigação é derivada por gravidade do Rio São Bento, em uma única entrada, e distribuída por sistemas ramificados de canais aos diversos produtores. O sistema de canais, com aproximadamente 115 km de extensão, tem função de irrigação e drenagem dos excessos, de forma a evitar perdas de água ao longo da área irrigada, sendo que na parte inferior os canais convergem para duas saídas. As amostras foram coletadas no canal de entrada e nas duas saídas.

Na safra 2008/2009 foi investigada a presença de carbofurano, sendo as análises realizadas no Laboratório de Análises de Águas do Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas (IPAT) da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), usando a cromatografia gasosa com detector nitrogênio-fósforo (NPD). Nas safras

2009/2010 e 2010/2011 as amostras foram encaminhadas para o laboratório de Análises de Águas da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri) da Estação Experimental de Itajaí (EEI). O método utilizado foi a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) utilizando-se colunas C18 distintas para os produtos de caráter ácido e neutros. A pré-concentração foi realizada por extração em fase sólida (SPE), utilizando cartuchos C18 SampliQ, Agilent Technologies. Os valores estão expressos em mg.L^{-1} . Por limitações metodológicas, não são relatados valores abaixo de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$. Amostras assinaladas com “+” representam produtos detectados por cromatografia líquida acoplada a espectrometria de massas (LC/MS/MS), sem determinação das concentrações. Os produtos possíveis de serem quantificados pela metodologia utilizada (HPLC) foram: imazapic, tricyclazole, imazethapyr, quinclorac, metsulfuron-methyl, bentazone, 2,4-d, penoxulan, nominee, pyrazosulfuron ethyl e cyclosulfamuron (grupo dos ácidos) e metomil, simazina e atrazina, carbofuran e dois metabólitos (3-hydroxycarbofuran e 3-ketocarbofuran), propanil, molinate, thiobencarb, fenoxaprop-ethyl, oxyfluorfen e oxadiazon (grupo dos neutros).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as amostras de água coletadas na entrada do sistema de irrigação não apresentaram valores de agrotóxicos detectáveis, e por isso não foram incluídas nos resultados. O fato de não apresentarem resíduos de agrotóxicos se explica pela localização da captação da água da ADISI em um ponto próximo à barragem do Rio São Bento, sem receber contribuição de áreas agrícolas

a montante. Na Tabela 1 constam os resultados das análises para determinação de presença de carbofurano.

Na safra 2008/2009, das 40 coletas realizadas nas áreas de drenagem foram observadas 10 amostras (25%) com resíduos de carbofurano, sendo o maior valor detectado de $5 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$. Nas safras 2009/2010 fo-

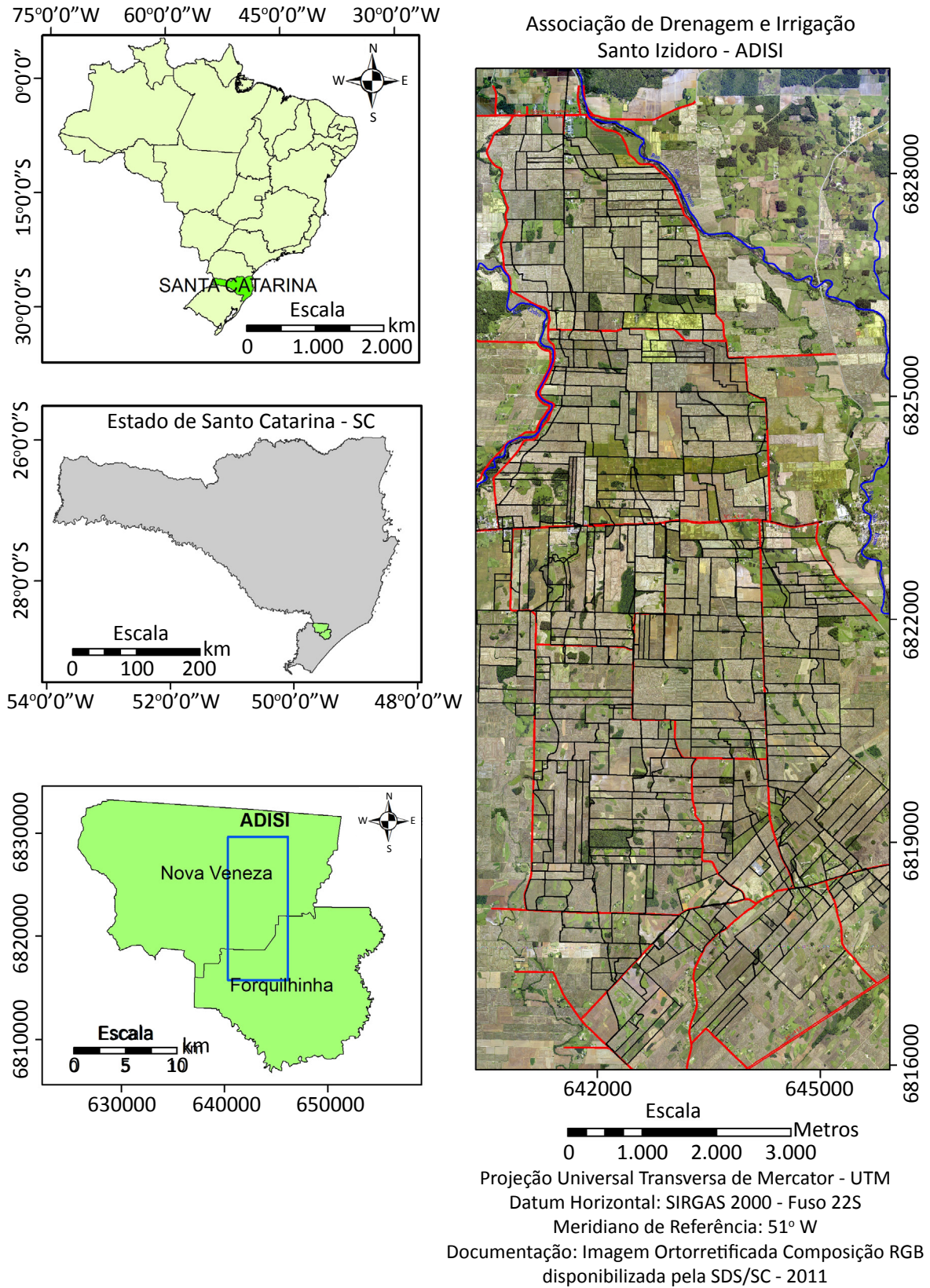


Figura 1 - Localização da área de estudo.

ram realizadas 40 análises e somente foi detectada a presença de carbofurano em 2 amostras (5,0%), e na safra 2010/2011 somente em 1 das 18 amostras (5,5%) foi identificada a presença de resíduos de carbofurano. Segundo Fernandes Neto e Sarcinelli (2009), no Brasil, a legislação vigente sobre a qualidade da água superficial não contempla todos os agrotóxicos recomen-

dados na orizicultura, e os limites máximos admitidos dependem do agrotóxico utilizado — CONAMA nº 357 (CONAMA, 2005) e complementada pela Resolução nº 430 (CONAMA, 2011). Embora tenha sido observada a presença de resíduos de carbofurano na água, as concentrações ficaram abaixo do valor máximo estabelecido pela Organização Mundial de Saúde (OMS) para

Tabela 1 - Valores encontrados das concentrações de carbofurano ($\mu\text{g.L}^{-1}$) referentes às coletas realizadas entre o período de safra da cultura, nas drenagens finais.

Data da coleta	Ponto de coleta		Data da coleta	Ponto de coleta	
	Saída 1	Saída 2		Saída 1	Saída 2
15/09/08	ND	ND	05/10/09	ND	ND
22/09/08	ND	ND	13/10/09	ND	ND
29/09/08	ND	ND	19/10/09	+	ND
06/10/08	ND	ND	03/11/09	ND	ND
13/10/08	5	3	10/11/09	ND	ND
20/10/08	1	ND	16/11/09	ND	ND
27/10/08	1	1	23/11/09	ND	ND
03/11/08	3	3	30/11/09	ND	ND
10/11/08	ND	1	07/12/09	ND	ND
17/11/08	ND	ND	14/12/09	ND	ND
24/11/08	ND	ND	21/12/09	ND	+
01/12/08	ND	ND	05/01/10	ND	ND
09/12/08	ND	ND	11/01/10	ND	ND
15/12/08	ND	ND	18/01/10	ND	ND
22/12/08	ND	ND	25/01/10	ND	ND
29/12/08	ND	ND	02/02/10	ND	ND
05/01/09	ND	ND	08/02/10	ND	ND
12/01/09	2	ND	22/02/10	ND	ND
19/01/09	2	ND	13/09/10	ND	ND
26/01/09	ND	ND	28/09/10	ND	ND
21/09/09	ND	ND	13/10/10	ND	ND
05/10/09	ND	ND	25/10/10	ND	ND
13/10/09	ND	ND	08/11/10	ND	+
19/10/09	+	ND	22/11/10	ND	ND
26/10/09	ND	ND	06/12/10	ND	ND
21/09/09	ND	ND	20/12/10	ND	ND

ND: não detectável; +: produto presente nas amostras sem concentração detectada.

água destinada ao consumo humano ($7,0 \mu\text{g.L}^{-1}$) (FLORES-GARCIA *et al.*, 2011). Já a Comunidade Europeia estabeleceu padrões de potabilidade para águas destinadas ao consumo humano de $0,1 \mu\text{g.L}^{-1}$ para 1 agrotóxico e $0,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ para a soma de todos os agrotóxicos presentes, incluindo seus metabólitos (GRÜTZMACHER *et al.*, 2008; MARCHEZAN *et al.*, 2010).

O carbofurano é utilizado na cultura do arroz irrigado para o combate da praga conhecida como bicheira da raiz, atribuída às larvas do gorgulho aquático (*Oryzophagus oryzae*). É um inseticida sistêmico, do grupo dos carbamatos, sendo muito eficiente no controle de uma ampla gama de pragas agrícolas. Sua atuação se dá por contato ou após ingestão (MOREIRA *et al.*, 2004).

O comportamento ambiental de um pesticida pode ser estimado pelas suas características físico-químicas e pelos seus metabólitos ou produtos de degradação formados. O carbofurano é um composto relativamente solúvel em água, hidrolisado com facilidade em meio básico formando dióxido de carbono, 7-hidroxicarbofurano e metilamina. O principal metabólito do carbofurano, tanto em plantas quanto por ação microbiológica, é um produto de oxidação, o 3-hidroxicarbofurano, que também pode sofrer outras transformações e ser eliminado por exsudação ou sofrer conjugações (MOREIRA *et al.*, 2004). De acordo com Silva *et al.* (2009), devido à alta solubilidade em água e ao baixo coeficiente de adsorção ao solo, o carbofurano apresenta elevado potencial para ser transportado dissolvido em água e, assim, contaminar os mananciais hídricos superficiais.

A meia-vida em água é extremamente dependente do pH, pois a taxa de hidrólise do carbofurano aumenta na medida em que aumenta o pH do meio, fator comum em solos inundados. No ambiente, a permanência do carbofurano é controlada por processos de degradação que, dependendo do meio (solo, planta ou água), pode ser química ou biológica. O carbofurano é pouco persistente e tende a se degradar rapidamente sob condições de solo inundado (SANTIAGO-MOREIRA *et al.*, 2013). O carbofurano é altamente tóxico para peixes, pássaros e humanos e, embora possa ser facilmente degradado, pode induzir efeitos deletérios a espécies não alvo, antes que ocorra uma dissipação ambiental (MOREIRA *et al.*, 2004).

Entre os herbicidas, verificou-se que o bentazona foi identificado em maior quantidade e concentrações (Tabela 2). Das amostras coletadas na safra 2009/2010, 47,5% apresentaram resíduos de bentazona, em concentrações variando de 3,6 a $116,0 \text{mg.L}^{-1}$, enquanto na safra 2010/2011 a frequência foi de 55,0% e as concentrações foram de 6,0 a $74,0 \text{mg.L}^{-1}$. O herbicida bentazona (3-isopropyl-1H-2,1,3-benzothiadiazin-4(3H)-one 2,2-dioxide) é um herbicida pós-emergente seletivo, com uso recomendado para as culturas de soja, arroz, feijão, milho e trigo. Sua classificação toxicológica é de nível III e sua classificação ambiental é do tipo III (produto perigoso) (SCHNEIDER *et al.*, 2014). Conforme a Portaria nº 1469 do Ministério da Saúde do Brasil, de 29 de dezembro de 2001 (BRASIL, 2001), que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, para a bentazona o valor máximo permitido é de 300mg.L^{-1} (FERNANDES NETO & SARCINELLI, 2009).

O herbicida bispyribac foi detectado em 10,3% das amostras, em concentrações de até $7,8 \text{mg.L}^{-1}$. Quinclorac, thibencarb e cicloxdin foram detectados nas amostras de água coletadas na safra 2009/2010 compreendendo menos de 5,0% das amostras. Entretanto, por limitações metodológicas, não foi possível determinar as concentrações dos produtos nas amostras. Silva *et al.* (2009) também identificaram resíduos do herbicida quinclorac em 11,0% das amostras coletadas e com concentração média de 60mg.L^{-1} . Dentre os herbicidas utilizados na lavoura de arroz, o quinclorac, mimetizador de auxina, reúne flexibilidade na aplicação (pré e pós-emergência), eficiência de controle de *Echinochloa* spp. e *Aeschynomene* spp. Primel *et al.* (2005) afirmam que o agrotóxico, ao ser usado na agricultura, pode atingir águas de superfície, sendo possível dividi-los entre aqueles que podem ser transportados dissolvidos em água e aqueles que são transportados associados ao sedimento em suspensão.

Segundo Copatti, Garcia e Baldisserotto (2009), o quinclorac apresenta médio potencial de poluição de águas superficiais, enquanto o bentazone e 2,4-D são considerados de baixo potencial de poluição dessas águas. O quinclorac, comparado com os herbicidas analisados, apresenta baixa solubilidade em água e baixa sorção com o carbono orgânico do solo, o que pode influenciar a lixiviação desse herbicida. Por outro lado, o quinclorac possui um alto potencial de lixiviação no solo, com possibilidade

Tabela 2 - Resultados das análises de herbicidas em amostras coletadas nas saídas 1 e 2.

Data de coleta	Bentazone		Quinclorac		Thiobencarb		Cycloxdin		BisPyribac	
	Saída 1	Saída 2	Saída 1	Saída 2	Saída 1	Saída 2	Saída 1	Saída 2	Saída 1	Saída 2
21/09/2009	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
05/10/2009	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
13/10/2009	10,0	3,6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
19/10/2009	ND	ND	ND	ND	+	ND	+	ND	ND	ND
26/10/2009	36,0	32,0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
03/11/2009	116,0	40,0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
10/11/2009	78,0	28,0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7,0	ND
16/11/2009	48,0	21,0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
23/11/2009	31,0	10,0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
30/11/2009	9,2	3,8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
07/12/2009	7,5	3,7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
14/12/2009	4,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
21/12/2009	4,1	ND	ND	ND	ND	ND	+	+	5,0	ND
05/01/2010	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11/01/2010	ND	ND	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
18/01/2010	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
25/01/2010	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
02/02/2010	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
08/02/2010	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
22/02/2010	14,0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
13/09/2010	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
28/09/2010	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
13/10/2010	74,0	6,0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7,8	ND
25/10/2010	57,0	56,0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7,0	3,5
08/11/2010	48,0	43,0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	+
22/11/2010	21,0	8,8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
06/12/2010	ND	11,0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
20/12/2010	7,0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
10/01/2011	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND: não detectável; +: produto presente nas amostras sem concentração detectada.

de contaminar águas subterrâneas. Segundo critérios de GOSS, que é um índice baseado nas características físico-químicas dos agrotóxicos, usado para estimar o potencial de contaminação de águas superficiais, o quinclorac apresenta baixo potencial de transporte, dissolvido em água e associado ao sedimento (SILVA *et al.*, 2009).

Com relação aos fungicidas, foi constatada presença de resíduos do tricyclazole em 17% das amostras, com concentrações de até 7 mg.L⁻¹ (Tabela 3). Somente uma amostra apresentou resíduo dos produtos azoxystrobin e tebuonazol, sendo essa ocorrência observada no final da safra 2009/2010. Esses produtos são aplicados principalmente no combate da brusone, que é a principal doença fúngica da cultura do arroz irrigado. As recomendações de aplicação desses produtos compreendem uma aplicação na fase denominada “emborrachamento” e a segunda aplicação na época de emissão das panículas (SANTOS & RABELO, 2008). Houve ainda a detecção de inseticidas como o malathion, identificado em 5,2% das amostras. O produto é um inseticida organofosforado recomendado no combate de algumas pragas da cultura do arroz.

Importante ressaltar que o transporte e o tempo de degradação são características importantes dos produtos aplicados na cultura de arroz irrigado, podendo variar de 7 a 36 dias (COPATTI; GARCIA; BALDISSEROTTO, 2009; MACHADO *et al.*, 2003). Segundo Copatti, Garcia e Baldisserotto (2009), no estado de Arkansas, Estados Unidos da América, resíduos dos herbicidas 2,4-D e quinclorac foram detectados em cursos de água que recebem o aporte de águas de lavouras de arroz irrigado até 36 dias após a aplicação. Há produtos com menor tempo de degradação na água das lavouras, como é o caso do clomazone (28 dias), quinclorac e bentazon (21 dias). Por outro lado, propanil e metsulfuron metil foram detectados somente até 7 a 10 dias após a aplicação.

Conforme ressaltado por Machado *et al.* (2003), a presença de resíduos de agrotóxicos na água superficial das áreas de drenagem das lavouras de arroz irrigado funcionam como indicador de práticas de manejo inadequadas, as quais deveriam evitar a saída da água contaminada da lavoura. Portanto, parece que mesmo com recomendações de manejo já estabelecidas, há falhas na condução da cultura que resultam na contaminação dos recursos hídricos (SOSBAI, 2012). Essas recomendações não são novas e envolvem uso correto dos agrotóxicos, manejo da água, proteção das taipas, além do uso de produtos menos agressi-

vos ao ambiente, e encontram-se descritas em trabalhos como os de Fritz *et al.* (2008) e Martini *et al.* (2012).

Ainda, deve ser considerado que a legislação não define valores para as concentrações máximas admitidas na água superficial para a maioria dos produtos utilizados na lavoura de arroz irrigado. Assim, há necessidade de revisão e atualização dessas legislações para contemplar esses agrotóxicos de ampla utilização nas lavouras de arroz irrigado.

O uso de pesticidas tem contribuído para o sucesso da agricultura atual, porém, com reconhecidos efeitos negativos à saúde humana e ao meio ambiente, em especial quando feito de forma indiscriminada. Fungicidas, herbicidas e inseticidas têm ação além dos organismos alvos e, dependendo da extensão dessa ação, as consequências podem ser graves, como a redução da diversidade de espécies (STEHLER & SCHULZ, 2015). Considerar essa redução nos ambientes aquático e terrestre assume dimensões difíceis de delimitar em suas consequências. Em humanos ou animais as intoxicações agudas, sejam elas acidentais ou intencionais, são facilmente perceptíveis (BULCÃO *et al.*, 2010; MEYER; RESENDE; ABREU, 2007). Por outro lado, os efeitos em longo prazo são de avaliação mais complexa, tanto para humanos quanto para o ambiente. A dificuldade nessa avaliação se deve em parte porque é necessário tempo para se observar essas alterações no ambiente, e muitas vezes quando se manifestam, os produtos saem do mercado. Por exemplo, há considerável volume de estudos com organoclorados e fosforados, que já há tempos vem sendo substituídos por piretroides, os quais se apresentam tóxicos para peixes e outras espécies (MONTANHA & PIMPÃO, 2012). Outro fator que contribui para a dificuldade na avaliação dos efeitos tóxicos é o grande número de espécies moleculares e o reduzido trabalho de monitoramento sistemático desses produtos no ambiente, considerando ainda as diferentes matrizes em que esses produtos podem estar presentes.

As vias principais de ingestão de pesticidas pelo homem e animais são por meio da contaminação da água e alimentos. Produtos como o carbofurano ainda têm aplicações na agricultura e ações tóxicas comprovadas em humanos e aves, por exemplo, ao agir como inibidor a acetilcolinesterase (MEYER; RESENDE; ABREU, 2007; ODINO, 2010). Efeitos em mais longo prazo dos pesticidas em humanos têm sido objeto de muitos estudos muito bem resumidos por Andersson, Tago e Treich (2014). Para avaliar melhor os efeitos de longo prazo dos pesticidas sobre a

Tabela 3 - Resultados de análise de resíduos de fungicida e inseticida (mg.L⁻¹) nas águas de irrigação de arroz coletadas nas saídas 1 e 2.

Data de Coleta	Tricyclazole		Azoxystrobina		Tebuconazol		Malathion	
	Saída 1	Saída 2	Saída 1	Saída 2	Saída 1	Saída 2	Saída 1	Saída 2
21/09/2009	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
05/10/2009	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
13/10/2009	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
19/10/2009	ND	ND	ND	ND	ND	ND	+	ND
26/10/2009	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
03/11/2009	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
10/11/2009	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
16/11/2009	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
23/11/2009	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
30/11/2009	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
07/12/2009	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
14/12/2009	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
21/12/2009	ND	+	ND	ND	ND	ND	ND	+
05/01/2010	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11/01/2010	1,6	3,7	ND	ND	ND	ND	ND	ND
18/01/2010	1,6	1,6	ND	ND	ND	ND	ND	ND
25/01/2010	3,1	1,6	ND	ND	ND	ND	ND	ND
02/02/2010	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
08/02/2010	ND	ND	ND	ND	ND	ND	+	ND
22/02/2010	+	ND	+	ND	+	ND	ND	ND
13/09/2010	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
28/09/2010	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
13/10/2010	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
25/10/2010	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
08/11/2010	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
22/11/2010	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
06/12/2010	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
20/12/2010	7,0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
10/01/2011	1,8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND: não detectável; +: produto presente nas amostras sem concentração detectada.

saúde humana, relações aparentemente inusitadas foram estabelecidas entre pesticidas e a doença de Parkinson (FITZMAURICEA *et al.*, 2013). Já o quinclorac, outro produto detectado no presente estudo, apresenta risco ao ambiente com efeitos diretos no fitoplâncton e indiretos no zooplâncton (RESGALLA JUNIOR *et al.*, 2007). Segundo

Stehle e Schulz (2015), a determinação das doses tidas como seguras são realizadas em ambientes controlados, o que pode não ser verdadeiro quando o pesticida estiver no ambiente. O monitoramento permite, além de avaliar a presença de resíduos agrotóxicos, verificar também se os limites estabelecidos são cumpridos.

CONCLUSÕES

Com o monitoramento durante três ciclos de cultivo de uma área de cultivo de arroz, utilizando água oriunda de uma bacia de captação sem atividade agrícola, pode-se concluir que os agrotóxicos utilizados nas lavouras de arroz irrigado contaminam os recursos hídricos a jusante dessas. Foram encontrados resíduos de carbofurano em amostras de água de drenagem coletadas nos 3 anos monitorados, com concentrações de até 5 mg.L⁻¹. Também foi constatado que a maioria (81%) das amostras de água superficial das áreas de drenagem das lavouras de arroz irrigado continha resíduos de pelo menos um herbicida. Dentre os her-

bicidas estudados, o bentazona foi identificado em maior frequência (50%), no entanto, também foram encontrados resíduos de bispyribac sodium, quinclorac e thiobencarb. Entre os fungicidas, destacam-se o tricyclazole, azoxystrobin e tebuonazol. Foram encontrados resíduos do inseticida malathion em 5,2% das amostras, porém em concentrações abaixo do limite detectável. Conclui-se, dessa forma, que as práticas de manejo inadequadas contribuem para a contaminação ambiental com agrotóxicos, que pode ser agravada quando produtos utilizados na cultura não estão contemplados na legislação, dificultando a fiscalização.

REFERÊNCIAS

- ANDERSSON, H.; TAGO, D.; TREICH, N. Pesticides and health: a review of evidence on health effects, valuation of risks, and benefit-cost analysis. IDEI-825. Toulouse: Toulouse School of Economy; 2014. Disponível em: <http://idei.fr/sites/default/files/medias/doc/wp/2014/wp_idei_825.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2016.
- ANDRADE, M. H.; SOUZA, C. F.; VARALLO, A. C. T.; PERES, J. G. Impactos da produção do arroz inundado na qualidade de água do rio Paraíba do Sul, trecho Taubaté, SP, Brasil. *Ambiente & Água*, v. 5, n. 1, p. 114-133, 2010.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Portaria nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União; 2001.
- BULCÃO, R. P.; TONELLO, R.; PIVA, S. J.; SCHMITT, G. C.; EMANUELLI, T.; DALLEGRAVE, E.; GARCIA, S. C. Intoxicação em cães e gatos: diagnóstico toxicológico empregando cromatografia em camada delgada e cromatografia líquida de alta pressão com detecção ultravioleta em amostras estomacais. *Ciência Rural*, v. 40, n. 5, p. 1109-1113, 2010.
- CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União; 2005.
- CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Brasília: Diário Oficial da União; 2011.
- COPATTI, C. E.; GARCIA, L. O.; BALDISSEROTTO, B. Uma importante revisão sobre o impacto de agroquímicos na cultura de arroz em peixes. *Biota Neotropical*, v. 9, n. 4, p. 235-242, 2009.

- FERNANDES NETO, M. L. & SARCINELLI, P. N. Agrotóxicos em água para consumo humano: uma abordagem de avaliação de risco e contribuição ao processo de atualização da legislação brasileira. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 14, n. 1, p. 69-78, 2009.
- FLORES-GARCIA, M. E.; MOLINA-MORALES, Y.; BALZA-QUINTERO, A.; BENÍTEZ-DIAS, P. R.; CONTRERAS-MIRANDA, L. Resíduos de plaguicidas em águas para consumo humano em uma comunidade agrícola del estado Mérida, Venezuela. *Investigación Clínica*, v. 52, n. 4, p. 295-311, 2011.
- FITZMAURICEA, A. G.; RHODES, S. L.; LULLA, A.; MURPHY, N. P.; LAM, H. A.; O'DONNELL, K. C.; BARNHILL, L.; CASIDA, J. E.; COCKBURN, M.; SAGASTI, A.; STAHL, M. C.; MAIDMENT, N. T.; RITZ, B.; BRONSTEIN, J. M. Aldehyde dehydrogenase inhibition as a pathogenic mechanism in Parkinson disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 110, n. 2, p. 636-641, 2013.
- FREITAS, C. A. Mãos dadas pela produtividade da lavoura. *Agropecuária Catarinense*, v. 22, n. 2, p. 33-35, 2009.
- FRITZ, L. L.; HEINRICH, E. A.; PANDOLFO, M.; SALLES, S. M.; OLIVEIRA, J. V.; FIUZA, L. M. Agroecossistemas orizícolas irrigados: insetos-praga, inimigos naturais e manejo integrado. *Oecologia Brasiliensis*, v. 12, n. 4, p. 720-732, 2008.
- GASPARINI, M. F. & VIEIRA, P. F. A (in)visibilidade social da poluição por agrotóxicos nas práticas de rizicultura irrigada: síntese de um estudo de percepção de risco em comunidades sediadas na zona costeira de Santa Catarina. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, n. 21, p. 115-127, 2010.
- GRÜTZMACHER, D. D.; GRÜTZMACHER, A. D.; AGOSTINETTO, D.; LOECK, A. E.; PEIXOTO, S. C.; ZANELLA, R. Monitoramento de agrotóxicos em dois mananciais hídricos no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 6, p. 632-637, 2008.
- KISCHEL, E.; FIDELIS, R. R.; SANTOS, M. M.; BRANDÃO, D. R.; CANCELLIER, E. L.; NASCIMENTO, I. R. Efeito do nitrogênio em genótipo de arroz cultivados em várzea úmida do Estado do Tocantins. *Revista Ceres*, v. 58, n. 1, p. 84-89, 2011.
- MACEDO, V. R. M.; MARCHEZAN, E.; SILVA, P. R. F.; ANGHINONI, I.; AVILA, L. A. *Manejo da água e da adubação para maior sustentabilidade*. Cachoeirinha: IRGA, 2007. 20 p. Divisão de Pesquisa. Boletim Técnico, 3.
- MACHADO, S. L. O.; MARCHEZAN, E.; VILLA, S. C. C.; CAMARGO, E. R. Os recursos hídricos e a lavoura arrozeira. *Ciência & Ambiente*, v. 27, n. 2, p. 97-106, 2003.
- MARCHEZAN, E.; SARTORI, G. M. S.; AVILA, L. A.; MACHADO, S. L. O.; ZANELLA, R.; PRIMEL, E. G.; MACEDO, V. R. M.; MARCHEZAN, M. G. Resíduos de agrotóxicos na água de rios da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Ciência Rural*, v. 40, n. 5, p. 1053-1059, 2010.
- MARTINI, L. F. D.; AVILA, L. A.; CASSOL, G. V.; ZANELLA, R.; MACHADO, S. L. O.; MARQUES, M. S.; DE VICARI, M. Transporte de agrotóxicos em lavoura de arroz irrigado sob três manejos de irrigação. *Planta Daninha*, v. 30, n. 4, p. 799-808, 2012.
- MEYER, T. N.; RESENDE, I. L. C.; ABREU, J. C. Incidência de suicídios e uso de agrotóxicos por trabalhadores rurais em Luz (MG), Brasil. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, v. 32, n. 116, p. 24-30, 2007.
- MONTANHA, F. P. & PIMPÃO, C. T. Efeitos toxicológicos de piretróides (cipermetrina e deltametrina) em peixes. *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária*, v. 9, n. 18, 2012.
- MOREIRA, J. C.; PERES, F.; SIMÕES, A. C.; PIGNATI, W. A.; DORES, E. C.; VIEIRA, S. N.; STRÜSSMANN, C.; MOTT, T. Ground and rainwater contamination by pesticides in an agricultural region of Mato Grosso state in central Brazil. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 17, n. 6, p. 1557-1558, 2012.
- MOREIRA, M. R. S.; MUCCI, J. L. N.; ABAKERL, R. B. Monitoramento dos resíduos de carbofurano em área de produção de arroz irrigado – Taubaté, São Paulo. *Arquivos do Instituto Biológico*, v. 71, n. 2, p. 221-226, 2004.

MOURA, M. A. M.; FRANCO, D. A. S.; MATALLO, M. B. Impacto de herbicidas sobre os recursos hídricos. *Tecnologia & Inovação Agropecuária*, v. 1, n. 1, p. 142-151, 2008.

ODINO, M. *Measuring the conservation threat to birds in Kenya from deliberate pesticide poisoning: a case study of suspected carbofuran poisoning using Furadan in Bunyala Rice Irrigation Scheme*. Wildlifiedirect & National Museums of Kenya, 2010. 36 p.

PEREIRA, V. S. & MARTINS, S. R. Indicadores de sustentabilidade do agroecossistema arroz orgânico com manejo de água contínuo na bacia do Araranguá (SC) mediante aplicação da metodologia MESMIS. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 15, p. 56-77, 2010.

POLEZA, F.; SOUZA, R. C.; STRAMOSK, C. A.; RORIG, L. R.; RESGALLA JUNIOR, C. Avaliação da toxicidade aguda para organismo teste *Vibrio fischeri* dos principais herbicidas e inseticidas aplicados na lavoura de arroz irrigado dos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, v. 18, p. 107-114, 2008.

PRIMEL, E. G.; ZANELLA, R.; KURZ, M. H. S.; GONÇALVES, F. F.; MACHADO, S. L. O.; MARCHEZAN, E. Poluição das águas por herbicidas utilizados no cultivo do arroz irrigado na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil: predição teórica e monitoramento. *Química Nova*, v. 28, n. 4, p. 605-609, 2005.

RESGALLA JUNIOR, C.; NOLDIN, J. A.; TAMANAHA, M. S.; DESCHAMPS, F. C.; EBERHARDT, D. S.; RÖRIG, L. R. Risk analysis of herbicide quinclorac residues in irrigated rice areas, Santa Catarina, Brazil. *Ecotoxicology*, v. 16, n. 8, p. 565-571, 2007.

RIBEIRO, M. L.; LOURENCETTI, C.; PEREIRA, S. Y.; MARCHI, M. R. R. Contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: avaliação preliminar. *Química Nova*, v. 30, n. 3, p. 688-694, 2007.

SANTIAGO-MOREIRA, M. R.; MUCCI, J. J. N.; CISCATO, C. H. P.; MONTEIRO, S. H.; ABAKERLI, R. B. Estudo do inseticida carbofurano em solo e sedimento de área de produção de arroz irrigado e controle do gorgulho aquático *Oryzophagus oryzae*, Taubaté, São Paulo, Brasil. *Arquivos do Instituto Biológico*, v. 80, n. 1, p. 125-128, 2013.

SANTOS, A. B. & RABELO, R. R. *Informações técnicas para a cultura do arroz irrigado no Estado do Tocantins*. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 2008. 136 p.

SCHNEIDER, M. V.; ROSA, M. F.; LOBO, V. S.; BARICCATTI, R. A. Degradação fotolítica de bentazona com TiO_2 . *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 19, n. 1, p. 61-66, 2014.

SCORZA JUNIOR, R. P. Dissipação do herbicida clomazone na cultura de arroz irrigado em Rio Brillhante, MS. Dourados: Embrapa, 2011. 5 p. Comunicado Técnico 167.

SILVA, D. R. O.; AVILA, L. A.; AGOSTINETTO, D.; DAL MAGRO, T.; OLIVEIRA, E.; ZANELLA, R.; NOLDIN, J. A. Monitoramento de agrotóxicos em águas superficiais de regiões orizícolas no sul do Brasil. *Ciência Rural*, v. 39, n. 9, p. 2383-2389, 2009.

SILVA, D. R. O.; AVILA, L. A.; AGOSTINETTO, D.; BUNDT, A. D. C.; PRIMEL, E. G.; CALDAS, S. S. Ocorrência de agrotóxicos em águas subterrâneas de áreas adjacentes a lavouras de arroz irrigado. *Química Nova*, vol. 34, n. 5, p. 748-752, 2011.

SOSBAI – SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. *Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil*. Itajaí: SOSBAI; 2012. 179 p.

STEHLE, S. & SCHULZ, R. Agricultural insecticides threaten surface waters at the global scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 112, n. 18, p. 5750-5755, 2015.

WILSON, A. L.; WATTS, R. J.; STEVENS, M. M. Effects of different management regimes on aquatic macroinvertebrate in Australian rice fields. *Ecological Research*, v. 23, n. 3, p. 565-572, 2008.