

EXPOSIÇÃO DA REDE DE DRENAGEM A AGROTÓXICOS E CONECTIVIDADE HIDRODINÂMICA, REGIÃO PONTAL DO PARANAPANEMA, SÃO PAULO, BRASIL

Paulo Cesar ROCHA

Professor Assistente Doutor da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
(UNESP) – Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), Presidente Prudente
E-mail: paulo-cesar.rocha@unesp.br

Renata Ribeiro de ARAÚJO

Professora Assistente Doutora da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
(UNESP) – Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), Presidente Prudente
E-mail: renata.r.araujo@unesp.br

Maria Cristina RIZK

Professora Assistente Doutora da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
(UNESP) – Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), Presidente Prudente
E-mail: mc.rizk@unesp.br

RESUMO: Os objetivos deste artigo foram estimar e avaliar a intensidade da exposição da rede de drenagem dos municípios a contaminantes agrotóxicos (glifosato, clomazona, diuron, hexazinona e tebutiuram) na região Pontal do Paranapanema-SP a partir do uso de dados de comercialização dos produtos agrotóxicos e de geotecnologias para sua espacialização, levando em consideração a conectividade hidrodinâmica entre a bacia hidrográfica e a rede de drenagem. A área de estudo se refere à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRH) 22, abrangendo 26 municípios totalizando uma área de 11,838 km². Para o estudo, foram utilizados dados de área dos municípios, extensão da rede de drenagem, provenientes de tratamento de cartas e mapas do IBGE, assim como dados secundários de comercialização de contaminantes provenientes do Observatório de Saúde Ambiental do Estado de São Paulo. Os resultados apontaram que grandes quantidades de agrotóxicos estão sendo utilizadas na pulverização, em especial na monocultura canavieira. A avaliação da relação entre a quantidade de agrotóxicos comercializados e a extensão da rede de drenagem dos municípios do Pontal do Paranapanema apontou que, em geral, os municípios com maior exposição aos agrotóxicos levantados foram Nantes, Narandiba, Sandovalina, Iepê e Teodoro Sampaio. Esta condição pode estar desequilibrando o ambiente e ser perigosa na contaminação das águas fluviais e de espécies aquáticas e dos humanos.

Palavras-chave: Rede de drenagem. Contaminantes. Agrotóxicos. Pontal do Paranapanema. Conectividade.

DRAINAGE NETWORK EXPOSURE TO AGROTOXIC BASED ON HYDRODYNAMIC CONNECTIVITY, PONTAL DO PARANAPANEMA, SAO PAULO, BRAZIL

ABSTRACT: The objectives of this paper were to estimate and evaluate the intensity of the drainage network exposure to contaminants (glyphosate, clomazone, diuron, hexazinone and tebutiurum) in the Pontal do Paranapanema-SP, by the pesticide commercialization data and geotechnologies for its spatialization, taking into account the hydrodynamic connectivity between the watershed and the drainage network. The area of this study refers to the Water Resources Management Unit 22 (WRMU 22), covering 26 municipalities totaling an area of 11,838 km². For the study, it was used data of the territorial area of municipalities, extension of the drainage network obtained from topographic charts and maps from IBGE, as well as secondary data of commercialization of contaminants from the Environmental Health Observatory of the State of São Paulo. The evaluation of the relationship between the amount of pesticides marketed and the extension of the drainage network of the municipalities of Pontal do Paranapanema indicated that, in general, the municipalities with the highest exposure to the pesticides were Nantes, Narandiba, Sandovalina, Iepê e Teodoro Sampaio. The results showed that large amounts of pesticides are being used in the spraying in sugarcane monoculture. This condition may be unbalancing the environment and may be hazardous to contamination of river waters and aquatic species and humans.

Key words: Drainage network. Contaminants. Pesticides. Pontal do Paranapanema, Connectivity.

EXPOSICIÓN DE LA RED DE DRENAJE A AGROTOXICO BASADA EN LA CONECTIVIDAD HIDRODINÁMICA, REGIÓN DEL PONTAL DO PARANAPANEMA, SAO PAULO, BRASIL

RESUMEN: Los objetivos de este documento son estimar y evaluar la intensidad de la exposición de la red de drenaje municipal a los pesticidas (glifosato, clomazona, diuron, hexazinona y tebutiurum) en la región de Pontal do Paranapanema-SP a partir del uso de datos de comercialización del producto, pesticidas y geotecnologías para su espacialización, teniendo en cuenta la conectividad hidrodinámica entre la cuenca y la red de drenaje. El área de estudio se refiere a la Unidad de Gestión de Recursos Hídricos (UGRH) 22, que abarca 26 municipios con un área total de 11,838 km². Para el estudio, utilizamos datos del área de los municipios, la extensión de la red de drenaje, de mapas y mapas del IBGE, así como datos secundarios sobre la comercialización de contaminantes del Observatorio de Salud Ambiental del Estado de São Paulo. Los resultados mostraron que se están utilizando grandes cantidades de pesticidas en la pulverización, especialmente en el monocultivo de caña de azúcar. La evaluación de la relación entre la cantidad de pesticidas comercializados y la extensión de la red de drenaje de los municipios de Pontal do Paranapanema indicó que, en general, los municipios con mayor exposición a los pesticidas fueron Nantes, Narandiba, Sandovalina, Iepê e Teodoro Sampaio. Esta condición puede desequilibrar el medio ambiente y puede ser peligrosa para la contaminación de las aguas de los ríos y las especies acuáticas y los humanos.

Palavras claves: Red de drenaje. Contaminantes. Pesticidas. Pontal do Paranapanema. Conectividad.

INTRODUÇÃO

A rede de drenagem na bacia hidrográfica funciona como um elo de conectividade entre os processos que ocorrem nas vertentes e as condições ambientais do rio principal. Desse modo, Rocha (2015) aponta a “conectividade” como uma importante ferramenta conceitual que surge recentemente para auxiliar as pesquisas transversais relacionadas a seus aspectos, sendo bem expresso nos sistemas fluviais (ROCHA, 2011; ROCHA, 2015).

Os rios funcionam como um sistema aberto, em termos de entrada (*input*) e saída (*output*) de matéria e energia, e como sistemas de processo-resposta, mantendo 3 características: 1- sua operação é controlada pela magnitude e frequência de *inputs*; 2- mudanças progressivas na morfologia e operação do sistema podem ocorrer se mudanças nos *inputs* ou degradação interna do sistema ocorrerem; 3- autoregulação ou trocas negativas (*feedback*) podem ocorrer criando um novo estado de equilíbrio entre as formas e os processos, a morfologia de um sistema fluvial reflete uma história denudacional (PETTS; FOSTER, 1990).

De acordo com Baartman (2013), há grande interesse da sociedade em compreender os fluxos de água, sedimentos e matéria orgânica de bacias hidrográficas de grandes sistemas fluviais. A dinâmica interna das bacias hidrográficas das partes altas, a partir do qual esses fluxos são fornecidos, até os canais fluviais são, portanto, de interesse também. A melhor compreensão dessa conectividade e da dinâmica dos fluxos aumenta a capacidade de se prever os influxos nos sistemas fluviais e suas consequências à jusante. Ainda, assim, a compreensão do fluxo de água, sedimentos e compostos químicos na escala da bacia hidrográfica é um desafio para muitos estudos.

Considerando o volume de agrotóxicos aplicados nas lavouras, menos de 0,1% entra em contato com os organismos alvos, enquanto o restante que seria 99,9% possui grande potencialidade para contaminação ambiental (SABIK *et al.*, 2000).

A monocultura é uma das atividades que mais cresce no Brasil e que, segundo Dias *et al.* (1999), contribui com a devastação das paisagens nativas, desequilibrando a fauna e a flora, alterando o ciclo das águas superficiais e subterrâneas e da atmosfera. A monocultura da cana-de-açúcar que se destina a atender o mercado externo e interno com a produção do álcool meche com a toda a cadeia ecológica natural e utiliza de modo indiscriminado o uso de químicos, corretivos de solo e agrotóxicos.

Em geral, os herbicidas são o grupo de pesticidas mais detectados em águas superficiais e subterrâneas em áreas próximas ao cultivo de cana-de-açúcar, que utiliza

grandes quantidades de herbicidas no manejo de plantas infestantes (MONQUERO *et al.*, 2008).

Tonieto (2014) destaca que após a eliminação da queima no processo de colheita da cana-de-açúcar, que acarreta na manutenção da palha no solo, ocorreram alterações no uso dos herbicidas na cana-de-açúcar, com o aumento da quantidade aplicada e a utilização de moléculas mais solúveis como a hexazinona e tebuthiuron.

O crescente uso de agrotóxicos na produção agrícola e a presença de resíduos acima dos níveis autorizados pela ANVISA têm sido alvo de diversos estudos realizados por Paganelli *et al.* (2010) e Uchida *et al.* (2012) na compreensão dos efeitos causadores destes resíduos na fauna e na flora. Destaca-se, ainda, o estudo realizado por Thomaz (2013), que analisou o mapeamento territorial do agrohidronegócio canavieiro no pontal do Paranapanema-SP e sua relação de trabalho, conflitos e formas de uso da terra e da água, e a saúde ambiental.

O monitoramento do Ministério da Saúde (SISÁGUA), em que há o mapeamento de como está o nível de contaminação da água por agrotóxicos no Brasil, mostra que a água potável está contaminada. No último levantamento, de 2013, que se encontra no Boletim Epidemiológico de Volume 46, número 04, de 2015, de 1598 municípios brasileiros que realizaram análise da água potável, de acordo com a Portaria 2914/2011/MS, 337 municípios apresentaram níveis de agrotóxicos acima do VMP (Valor máximo permitido) e o restante estava abaixo do permitido (PIGNATTI, 2016).

Neste contexto, os objetivos deste artigo foram estimar e avaliar a intensidade da exposição da rede de drenagem dos municípios a contaminantes agrotóxicos (glifosato, clomazona, diuron, hexazinona e tebutiuron) na região Pontal do Paranapanema-SP a partir do uso de dados de comercialização dos produtos agrotóxicos e de geotecnologias para sua espacialização, levando em consideração a conectividade hidrodinâmica entre a bacia hidrográfica e a rede de drenagem.

Do ponto de vista da conectividade de dinâmica superficial entre as vertentes e os canais fluviais, as áreas de maior dissecação do relevo correspondem a áreas com maior conectividade. Na região dominam os Latossolos e Argissolos com alta suscetibilidade natural a processos erosivos. Nos vales aluviais, solos hidromórficos e neossolos flúvicos. A altura média da precipitação anual no Pontal do Paranapanema varia de 1100 a 1400 mm. No oeste paulista existem diversos sistemas de circulação que atuam com maior e menor intensidade (BRAIDO, 2010; SANTOS *et al.*, 2011; GARCIA *et al.*, 2013).

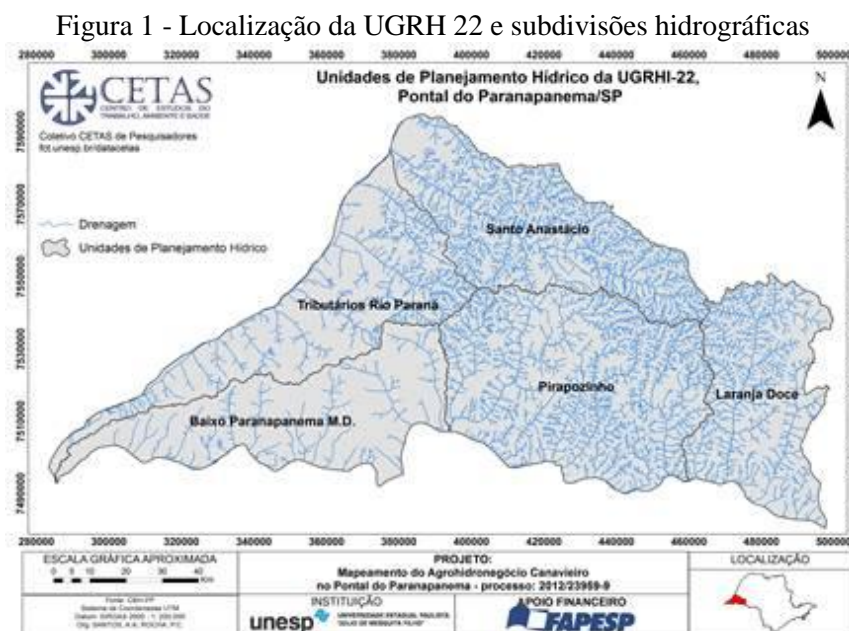
Recentemente, trabalhos acerca das relações entre a rede de drenagem, o relevo e processos apropriativos relacionados à expansão dos canais no oeste paulista foram conduzidos por Rocha *et al.* (2016) e Araújo *et al.* (2017), estudando a apropriação do relevo e rede de drenagem pela cana de açúcar na região Pontal do Paranapanema. Santos *et al.* (2018) estudaram a apropriação do meio físico e relações com a expansão canavieira no Pontal do Paranapanema. Por sua vez, Rocha e Santos (2018) apresentaram um estudo sobre a análise da variação espacial da produção hídrica por unidade de área nas bacias hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe, região Oeste Paulista.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área em estudo

A área em estudo se refere à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRH) 22, que pertence ao Comitê das Bacias Hidrográficas do Pontal do Paranapanema (CBH-PP), localizada junto às coordenadas 21°43'58"S e 22°41'49"S, 50°58'59"W e 53°08'59"W, abrangendo 26 municípios e totalizando uma área de 11,838 km² (Figura 1).

A região do Pontal do Paranapanema apresenta, como substrato geológico, rochas sedimentares cretáceas dos grupos Caiuá e Bauru, recobertas por mantos regolíticos de diferentes espessuras e por sedimentos cenozóicos inconsolidados, que incluem terraços fluviais e depósitos aluviais recentes na calha dos maiores rios. Ao sudeste da área, afloram basaltos da Formação Serra Geral, que constituem o substrato das bacias Caiuá e Bauru.



Em termos geomorfológicos gerais, dominam os topos tabulares e convexos, no geral com baixos a médios índices de dissecação. Nos vales dos rios mais longos são presentes ambientes de acumulação como as planícies e em alguns casos os terraços fluviais. Regionalmente, observam-se nas áreas de menor densidade de drenagem o domínio dos topos tabulares. Nas áreas de maior densidade de drenagem, os topos convexos. Nas áreas de maior dissecação do relevo, vales encaixados são dominantes.

Procedimentos metodológicos

Para a realização do artigo foram utilizados os seguintes dados no formato digital: disponibilizados nos bancos de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, ano), drenagem na escala de 1:50.000; dados disponíveis nos relatórios de situação do Comitê da Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema (UGRHI-22); dados no formato matricial (Imagens do Satélite *ResourceSat*, adquiridas no ano de 2013, com resolução espacial de 23,5 metros, disponibilizadas no site Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE); e dados do Observatório Ambiental do IBGE e do Observatório de Saúde Ambiental da Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo. Esses dados foram coletados e armazenados dentro de um Sistema de Informação Geográfica.

Em seguida, foram tabulados os dados do Observatório de Saúde Ambiental (São Paulo, 2018) e espacializados, usando técnicas de união de tabelas com dados espaciais. Os dados de princípios ativos dos agrotóxicos por município foram tabulados em planilha Excel. Os dados da extensão da rede de drenagem por município foram obtidos a partir da mensuração automática em plataforma SIG, baseado nas cartas topográficas do IBGE, na escala 1:50.000 e, posteriormente, tabulados em planilha Excel.

Para o entendimento da relação entre a rede de drenagem e o consumo de agrotóxicos por município, foram relacionados os totais de comercialização de cada um dos 5 princípios ativos selecionados em toneladas, com a extensão de drenagem no interior do território do município onde houve a comercialização, com o pressuposto de que este insumo foi utilizado em plantações no próprio município.

Como classes de análise, foram definidos 5 níveis de intensidade: as classes ausência de cana ou sem exposição significativa, baixa exposição, média exposição, alta exposição e muito alta exposição. Após o processamento dos dados, foram elaborados os gráficos e tabelas para se obter os relacionamentos entre as variáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentam que o Pontal do Paranapanema recebe uma considerável quantidade de insumos químicos na produção sucroalcooleira na região e que pode agravar os efeitos nocivos sobre o meio ambiente (Tabela 1).

Como a área possui um extenso e intensivo processo de produção de cana-de-açúcar, ela também possui um alto potencial poluidor ao meio ambiente, haja vista que, todas as etapas do processo de produção causam algum tipo de impacto ao meio ambiente, seja na forma de exploração dos recursos naturais, quanto na aplicação do produto e no resíduo descartado de forma inadequada no meio ambiente.

Na Tabela 1 estão destacados os valores mais elevados de comercialização dos produtos nos municípios, assim como grifados as maiores quantidades por princípio ativo. São notáveis as quantidades comercializadas de glifosato em boa parte dos municípios da região em destaque. Os municípios de Nantes, Narandiba, Sandovalina, Iepê e Teodoro Sampaio foram os municípios com maiores quantidades comercializadas para os 5 produtos selecionados. Os valores se destacam também para Taciba, Rancharia, Pirapozinho e Rosana.

Tabela 1 - Comercialização de agrotóxicos na região do Pontal do Paranapanema, em kg/ano, para o ano de 2013.

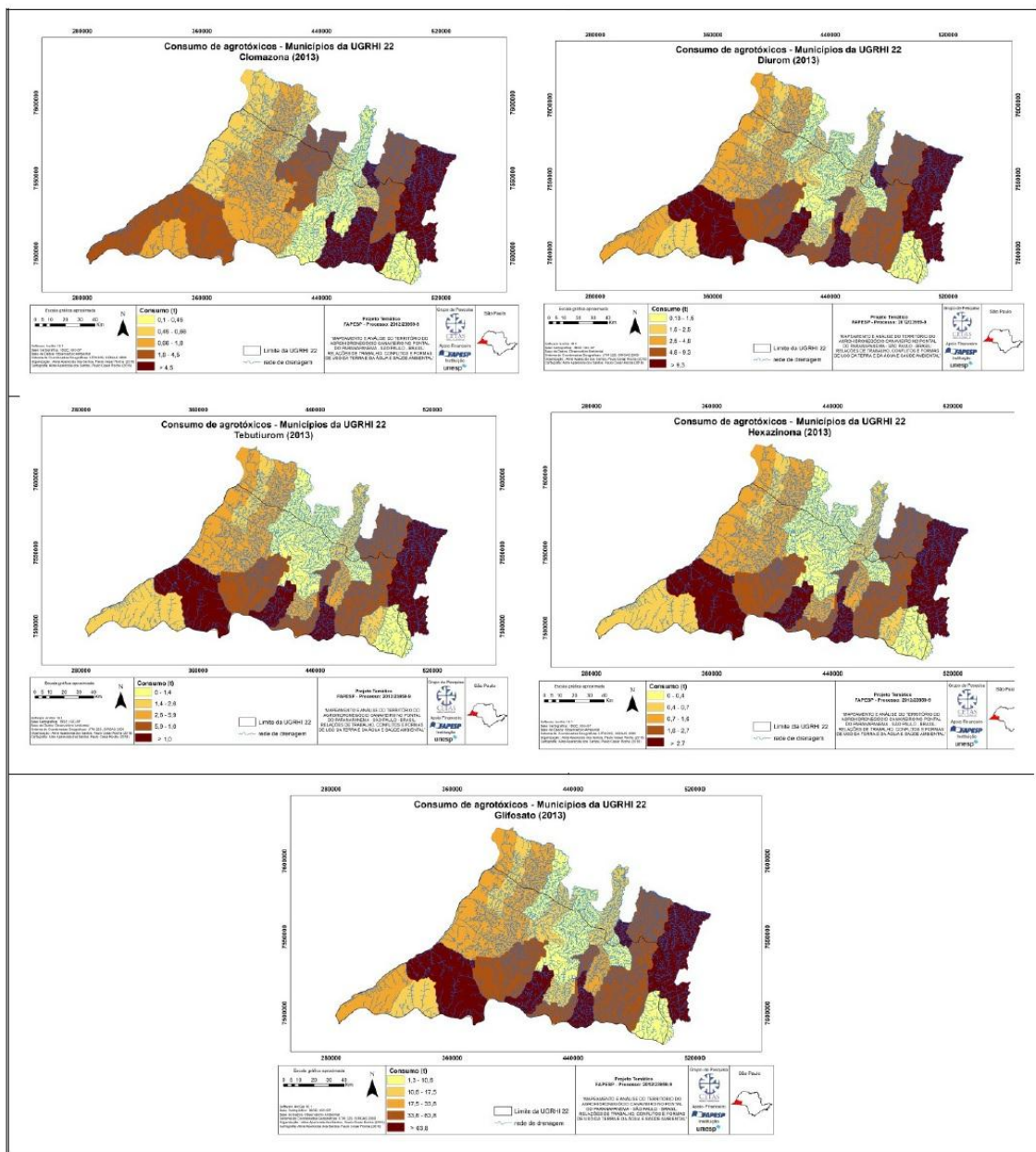
Municípios - UGRHI 22	Princípios Ativos em Kg					Total
	Clomazona	Hexazinona	Tebutiurum	Glifosato	Diurum	
Álvares Machado	1,130	0,000	0,000	3,704	0,417	5,251
Anhumas	1,310	3,047	11,244	62,828	9,190	87,619
Caiuá	1,191	1,373	5,071	33,330	4,200	45,165
Estrela do Norte	0,334	2,856	10,547	57,432	8,179	79,348
Euclides da Cunha Paulista	9,391	2,451	9,058	56,359	8,150	85,409
Iepê	46,702	5,491	20,269	206,638	30,579	309,679
Indiana	0,801	0,049	0,181	7,142	0,719	8,892
Marabá Paulista	1,602	1,607	5,932	34,854	4,980	48,974
Martinópolis	2,881	1,437	5,306	33,660	4,851	48,134
Mirante do Paranapanema	1,681	2,136	7,888	46,022	6,490	64,217
Nantes	97,502	2,574	9,510	261,749	38,785	410,120
Narandiba	53,843	9,794	36,155	198,931	29,407	328,131
Piquerobi	1,064	0,595	2,195	14,866	2,012	20,731
Pirapozinho	0,748	5,393	19,910	105,495	15,504	147,049
Presidente Bernardes	2,437	0,322	1,188	12,279	1,675	17,900
Presidente Epitácio	0,861	2,491	9,199	51,475	7,394	71,420
Presidente Prudente	0,373	0,804	2,971	16,892	2,405	23,446
Presidente Venceslau	0,904	1,189	4,392	25,903	3,587	35,975

Rancharia	19,145	3,321	12,258	108,426	15,534	158,684
Regente Feijó	1,960	0,687	2,531	20,165	2,791	28,133
Rosana	17,716	2,794	10,313	87,118	12,631	130,571
Sandovalina	4,698	11,063	40,842	222,426	32,749	311,777
Santo Anastácio	2,941	0,590	2,180	18,248	2,623	26,583
Taciba	24,585	2,907	10,734	110,043	16,163	164,432
Tarabai	0,741	2,073	7,657	42,776	6,097	59,344
Teodoro	4,204	8,771	32,381	175,835	25,738	246,929
Sampaio						

Fonte: Adaptado de São Paulo – Observatório de Saúde Ambiental (2018)

A Figura 2 representa espacialmente as áreas dos municípios e as quantidades comercializadas de agrotóxicos na região e ilustra os valores apresentados na Tabela 1.

Figura 2 - Utilização de Agrotóxicos por município na região do Pontal do Paranapanema, comercializados em 2013 - em Toneladas. Obs: Os valores estão relativizados para cada Princípio Ativo nas figuras.



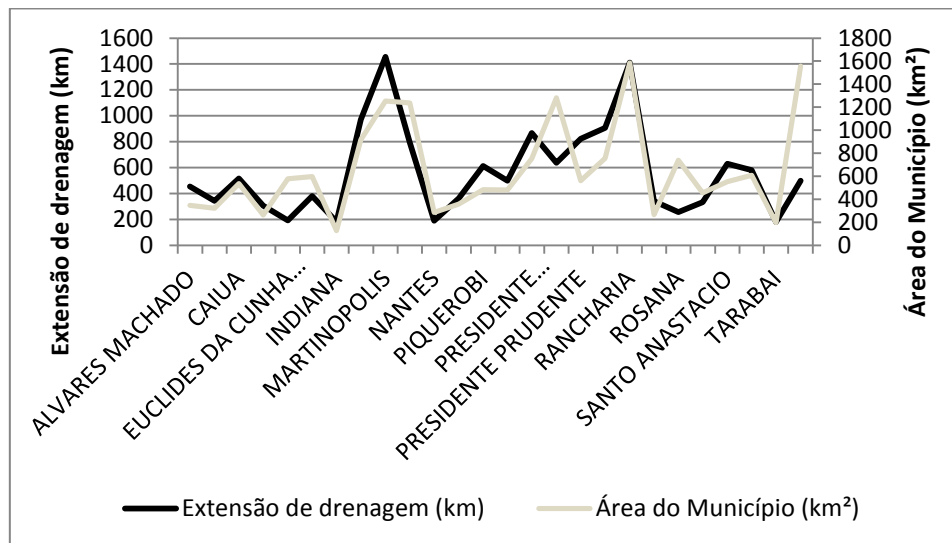
Fonte dos dados: São Paulo - Observatório de Saúde Ambiental (2018).

Quando se relacionam as quantidades dos agrotóxicos com a área dos municípios onde foram comercializados e a extensão de sua rede de drenagem, obtêm-se novas relações espaciais.

A Figura 3 apresenta a relação entre a área do município e a extensão de sua rede hidrográfica.

Figura 3 - Área territorial e extensão da rede de drenagem em municípios do Pontal do Paranapanema, UGRHI

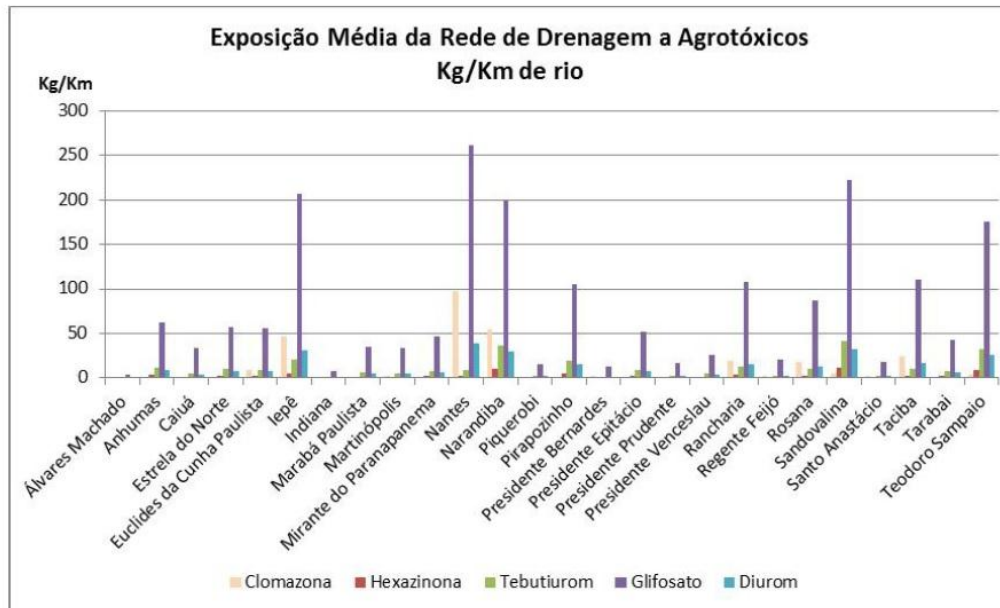
22.



A rede de drenagem, como o próprio nome sugere, serve para drenar água, sedimentos e os compostos dissolvidos/solubilizados e, também, particulados que foram carregados pelo escoamento superficial nas vertentes até o canal fluvial. Esta condição proporciona uma intensa conectividade entre a vertente e os canais fluviais, principalmente durante os eventos de chuva, que geram o escoamento superficial. Por sua vez, as condições ambientais da superfície do solo e relevo, assim como da vegetação (natural ou antrópica) serão importantes condicionantes das características físicas e químicas das águas que escoam pela vertente até os canais fluviais e, estes, por sua vez, terão sido influenciados por estas condições.

A Figura 4 apresenta a relação entre a quantidade dos agrotóxicos comercializados e a extensão de drenagem do município, produzindo uma relação que representa a intensidade de exposição da rede de drenagem à contaminação química por cada um dos princípios ativos analisados. Os maiores valores de exposição da rede de drenagem à contaminação por agrotóxicos considerando a relação Kg de agrotóxico/Km de rio, em especial para o glifosato, são referentes aos municípios de Nantes, Sandovalina, Iepê, Narandiba e Teodoro Sampaio.

Figura 4 - Exposição média da rede de drenagem à contaminação por Princípios Ativos de Agrotóxicos comercializados nos municípios da região Pontal do Paranapanema.



Os municípios com maior destaque na figura 3 não necessariamente apresentam maiores níveis de exposição da rede de drenagem.

Segundo a Agência de Pesquisa sobre Câncer (IARC) da Organização Mundial de Saúde (OMS), o glifosato tem sido indicado como provável causador de câncer humano (BRASIL, 2006). De acordo com Chang *et al.* (1999) a ingestão oral do glifosato em seres humanos ocasionou alterações no trato gastrointestinal, como irritações e úlceras.

Devido à rápida adsorção no solo, o glifosato não é facilmente lixiviado, sendo pouco provável a contaminação de águas subterrâneas (AMARANTE JUNIOR *et al.*, 2002; VARONA *et al.*, 2009).

Ao atingir a água, o glifosato é absorvido pelas partículas em suspensão ou sedimentação e depois degradado, o que ocorre mais lentamente do que nos solos, devido ao menor número de microrganismos; com uma meia-vida de 7 a 10 semanas em águas naturais (VARONA *et al.*, 2009).

Após aplicações do glifosato, este herbicida persiste no meio ambiente e se degrada, sendo o seu principal metabólito o ácido aminometilfosfônico (AMPA), que quando alcança os corpos d'água se associa a fração particulada e se deposita nos sedimentos (PARAVANI *et al.*, 2016).

A clomazona apresentou grau de exposição da rede de drenagem variando de alta exposição à muito alta exposição em grande parte do Pontal do Paranapanema. Os municípios

com maior destaque foram Nantes, Narandiba, Iepê, Taciba e Rancharia que apareceram com maior exposição da rede de drenagem com índice de clomazona (Tabela 1 e Figuras 2 e 4). Noldin *et al.* (2001), em estudo realizado, indicaram que a clomazona foi detectada na água após sua aplicação na safra de arroz. Os autores sugerem, que até três a quatro semanas após aplicação do herbicida, a água deve ser mantida dentro da área da lavoura, a fim de minimizar os riscos de escoamento do produto para fora da lavoura e a consequente contaminação das águas superficiais.

Segundo Cumming *et al.* (2002 apud MONQUERO *et al.*, 2008, p.688), “resíduos de clomazone foram detectados um ano após a aplicação em diferentes tipos de solo, e em solos com textura arenosa ocorre mais facilmente a dissorção deste herbicida, o que pode propiciar a lixiviação”.

O índice *Groundwater Ubiquity Score* (GUS) classifica os pesticidas em não-lixiviável ($GUS < 1,8$); lixiviável ($GUS > 2,8$); e em faixa de transição ($1,8 < GUS < 2,8$), a partir do tempo de meia vida e do coeficiente de sorção dos pesticidas (GOMES *et al.*, 2001), podendo auxiliar na avaliação da lixiviação dos agrotóxicos no ambiente.

Nesse contexto, no estudo do potencial de lixiviação de produtos aplicados na cana-de-açúcar na região do Rio Corumbataí, o índice de GUS calculado para a clomazona foi de 2,102 (MONQUERO *et al.*, 2008), faixa de transição de lixiviação. Assim, no Pontal do Paranapanema também é importante determinar o valor desse índice para a clomazona, de acordo com sua capacidade de sorção na área de estudo e seus impactos ambientais.

A avaliação do diuron destacou grau de exposição da rede de drenagem variando de média a alta exposição na área de estudo. Os municípios com maior destaque foram Nantes, Sandovalina, Iepê, Narandiba e Teodoro Sampaio (Tabela 1 e Figuras 2 e 4).

Este composto ativo é indicado para as culturas de cana-de-açúcar, citros, café, algodão, banana, entre outros e quando não manipulado de forma adequada é muito perigoso ao meio ambiente (BRASIL, s/d). Além da exposição das águas superficiais, Matallo *et al.* (2003) analisaram a lixiviação do herbicida diuron em coluna de solo do tipo Neossolo Quartzarênico e confirmaram o transpasse do diuron. O estudo indicou a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas e apontaram a necessidade de se aprofundar estudos nos lençóis freáticos e à zona não saturada em regiões com culturas de cana-de-açúcar.

Giacomazzi e Cochet (2004) destacam que o diuron apresenta alta persistência e pode ser encontrado em muitos ambientes, como solo, sedimentos e água. Sua baixa solubilidade e alto coeficiente de sorção faz com que o diuron seja encontrado na fase sólida e não na fase gasosa ou líquida. A quantidade de matéria orgânica no solo influencia diretamente na

quantidade de diuron adsorvido. Em solos mais profundos, devido à baixa concentração de matéria orgânica, o diuron está sujeito a maior lixiviação. Os autores, também, destacam que o diuron e os produtos de sua degradação foram detectados em águas superficiais e sedimentos.

A hexazinona apresentou valores menores em quantidades de exposição no Pontal do Paranapanema. Os municípios com maior destaque foram Sandovalina, Narandiba, Teodoro Sampaio, Iepê e Pirapozinho (Tabela 1 e Figuras 2 e 4).

Outro composto ativo muito utilizado na cana-de-açúcar é o tebutiuron. Ele é considerado um herbicida do grupo dos derivados da ureia, bastante recomendado no controle de plantas daninhas mono e dicotiledôneas (RODRIGUES; ALMEIDA, 1998).

Estes agrotóxicos possuem princípios ativos que podem contaminar várias fontes de água, em especial o lençol freático (ROQUE, 1998; GOODY *et al.*, 2002).

No Pontal do Paranapanema o grau de exposição da rede de drenagem a esse composto foi de média à alta exposição, principalmente nos municípios de Sandovalina, Narandiba, Teodoro Sampaio, Iepê e Pirapozinho (Tabela 1 e Figuras 2 e 4).

O índice de GUS estimado por Gomes *et al.* (2001) do diuron foi de 2,6, da hexazinona de 4,4 e do tebutiuron de 5,4. Assim, pode-se considerar que o tebutiuron apresenta maior potencial de lixiviação e, conseqüentemente, maior probabilidade de ocorrência na água subterrânea.

Queiroz *et al.* (2009) mostraram, em seus estudos realizados na região de Ribeirão Preto – SP, que a hexazinona possui potencial para contaminação de águas subterrâneas, uma vez que o índice de GUS é $\geq 2,8$, recomendando que a hexazinona seja priorizada em programas de monitoramento ambiental a fim de garantir a qualidade e segurança das águas consumidas pela população desta região.

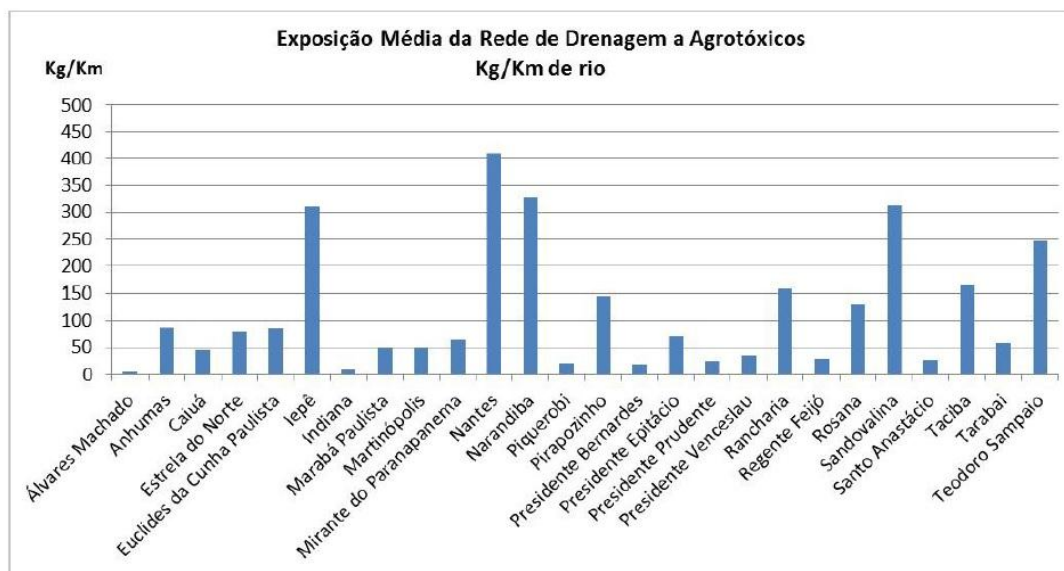
Como no presente estudo não foi determinado o índice de GUS para os herbicidas avaliados, seria importante considerar a real capacidade de lixiviação dos mesmos na área de estudo, em função especialmente da sorção desses agrotóxicos no Pontal do Paranapanema. Porém, a partir das considerações da literatura acima destacadas, estima-se que esses herbicidas também tenham potencial de lixiviação na área de estudo, devendo-se considerar o monitoramento ambiental desses compostos, em especial no sentido de garantir segurança hídrica.

O que se tem observado nos valores de exposição da drenagem a contaminantes por agrotóxicos é que grande parte da rede de drenagem pode ser afetada direta ou indiretamente. A contaminação dos cursos d'água é preocupante, haja vista que a lixiviação ou contaminação

direta dos recursos hídricos destinados ao consumo humano por herbicidas tem sido um dos grandes problemas enfrentados pela sociedade moderna, uma vez que estudos indicam que estes são potencialmente carcinogênicos e impactantes.

A Figura 5 representa a relação dos totais (Kg) comercializados dos 5 produtos aqui levantados somados, com a extensão da rede de drenagem por município. No gráfico apresentado, pode se observar que os municípios de Nantes, Narandiba, Sandovalina, Iepê e Teodoro Sampaio são os municípios com maiores níveis de exposição de sua rede de drenagem a estes contaminantes em conjunto.

Figura 5 - Exposição média da rede de drenagem à contaminação por agrotóxicos no Pontal do Paranapanema. Obs: Considerados a soma de comercialização por município dos princípios ativos glifosato, clomazona, diuron, hexazinona e tebutiurum.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados apresentados demonstram que grandes quantidades de agrotóxicos estão sendo utilizadas na pulverização, em especial na monocultura canavieira. Alguns municípios podem estar com intensa carga de veneno nas suas águas, em especial durante os processos de conectividade, como durante e logo após as chuvas. Esta condição pode estar desequilibrando o ambiente e ser perigosa a contaminação de espécies aquáticas e dos humanos.

A partir do desenvolvimento desse estudo, foi possível verificar que em função da quantidade de agrotóxicos comercializados e da extensão da rede de drenagem dos municípios do Pontal do Paranapanema, em especial os municípios de Nantes, Narandiba, Sandovalina, Iepê e Teodoro Sampaio tiveram maiores níveis de exposição da sua rede de drenagem aos

agrotóxicos, podendo levar a impactos ambientais em diferentes meios (solo, água, ar, fauna, vegetação e saúde humana).

A monocultura da cana de açúcar ocupa uma vasta área nesta região (UGRHI 22) e a intensa utilização de produtos químicos, como agrotóxicos e adubos, devem ser vistoriados e pesquisas devem acompanhar a evolução das condições ambientais do solo, vegetação, águas superficiais e subterrâneas, saúde da população, pois todos estão em contato com estes produtos, seja pela condução pelas águas ou pelo ar por dispersão.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pela concessão de financiamento à pesquisa, processo nº 2012/23959-9. Também ao Laboratório de Geologia, Geomorfologia e Recursos Hídricos – Lab GGRH - da Faculdade de Ciências e Tecnologia / FCT / UNESP, pelo apoio instrumental e institucional.

REFERÊNCIAS

AMARANTE JUNIOR, O. P.; SANTOS, T. C. R.; BRITO, N. M.; RIBEIRO, M. L. **Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação.** Química Nova, v. 25, n. 4, p. 589-593, 2002.

ARAÚJO, R. R.; ROCHA, P. C.; SANTOS, C. R.; SANTOS, A. A.; MOROZ, I. C.; RIZK, M. C. **O Agrohidronegócio Canavieiro e a Apropriação da Rede Hidrográfica na Região do Pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil.** In: CONGRESSO INTERNACIONAL RESAG, Belo Horizonte, Anais do 3 Congresso internacional RESAG, 2017, Belo Horizonte, 2017.

BAARTMAN, J. E. M.; MASSELINK, R.; KEESSTRA, S. D.; TEMME, A. J. A. M. **Linking landscape morphological complexity and sediment connectivity.** Earth Surf. Process. Landforms, v. 38, p. 1457-1471, 2013.

BRAIDO, L. M. H. **Caracterização edafoclimática e proposta para a determinação do risco de redução de safra na região do Pontal do Paranapanema – SP.** Dissertação (Mestrado em Geografia) Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, Presidente Prudente – SP. 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde, Secretaria de atenção à saúde, Instituto Nacional de Câncer. **A situação do câncer no Brasil.** Rio de Janeiro, INCA, 2006.

CBH-PP. COMITE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PONTAL DO PARANAPANEMA. **Plano de Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema.** 2008. Disponível em

<http://www.comitepp.sp.gov.br/files/PBH/PBH%20CBH-PP%202008.zip>. Acesso em: 03 ago. 2016.

CETAS. Centro de Estudos do Trabalho, Ambiente e Saúde, 2015. **Relatório Científico**, FCT/UNESP, FAPESP.

CHANG, C. Y.; PENG, Y. C.; HUNG, D. Z.; HU, W. H.; YANG, D. Y.; LIN, T. J. **Clinical impact of upper gastrointestinal tract injuries in glyphosate-surfactant oral intoxication**. *Human & Experimental Toxicology*, v. 18, n. 8, p. 475-478, 1999.

GARCIA, R. M., TROMBETA, L. R., NUNES, R. S., GOUVEIA, I. C. M. C., LEAL, A. C. **Mapeamento geomorfológico da UGRH Pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil**. In: Anais do Workshop I. P. D. S. B. H. Presidente Prudente – SP, 2013.

GIACOMAZZI, S.; COCHET, N. **Environmental impact of diuron transformation: a review**. *Chemosphere*, v. 56, p. 1021-1032, 2004.

GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C. A.; LANCHOTTE, V. L. **Ocorrência do herbicida tebuthiuron na água subterrânea da microbacia do córrego espraído, Ribeirão Preto – SP**. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, v. 11, p. 65-76, 2001.

GOODY, D. C; CHILTON, P. J.; HARRISON, I. **A field study to assess the degradation and transport of diuron and its metabolites in a calcareous soil**. *Science of the Total Environment*, [Amsterdam], v. 29, p. 67-83, 2002.

MATALLO, M.; LUCHINI, L.; GOMES, M.; SPADOTTO, C.; CERDEIRA, A.; MARIN, G. **Lixiviação dos herbicidas tebutiuron e diuron em colunas de solo**. *Pesticidas*. *Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, Curitiba, v. 13, p. 83-90, jan/dez, 2003.

MONQUERO, P. A.; BINHA, D. P.; AMARAL, L. R.; SILVA, P. V.; SILVA, A. C.; INACIO, E. M. **Lixiviação de clomazone + ametryn, diuron + hexazinone e isoxaflutole em dois tipos de solo**. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, v. 26, n. 3, p. 685-691, 2008.

NOLDIN, J. A.; HERMERS, L. C.; FAY, E. F., EBERHARDT, D. S.; ROSSI, M. A., **Persistência do herbicida clomazone no solo e na água quando aplicado na cultura do arroz irrigado, sistema pré-germinado**. *Planta Daninha*, v. 19, n. 3, p.4 01-408, 2001.

PAGANELLI, A. et al. **Glyphosate-based herbicides produce teratogenic effects on vertebrates by impairing retinoic acid signaling**. *Chemical Research in Toxicology*, v. 23, n. 10, p. 1586-1595, 2010.

PARAVANI, E. V.; SASAL, M. C.; SIONE, S. M.; GABIOUD, E. A.; OSZUST, J. D.; WILSON, M. G.; DEMONTE, L.; REPETTI, M. R. **Determinación de la concentración de glifosato en agua mediante la técnica de inmunoabsorción ligada a enzimas (Elisa)**. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, v. 32, n. 4, p. 399-406, 2016.

PETTS, G.; FOSTER, I. **Rivers and Landscape**. The Athenaeum Press, 3 ed., New Castle, Great Britain, 1990.

PIGNATTI, W. **Agronegócio, agrotóxicos e saúde**, In: **Agrotóxicos: Violações socioambientais e direitos humanos no Brasil**. In: SOUZA, M. M. O., FOLGADO, C. A. R. (org), Ed. da UEG, 2016, 296 p.

QUEIROZ, S. C. N.; FERRACINI, V. L.; GOMES, M. A. F.; ROSA, M. A. **Comportamento do herbicida hexazinone em área de recarga do aquífero Guarani cultivada com cana-de-açúcar**. Química Nova, v. 32, n. 2, p. 378-381, 2009.

ROCHA, P. C.; SANTOS, A. A. **Hydrological analysis in water basins**. Mercator (Fortaleza, online), v. 17, p. 1-18, 2018.

ROCHA, P. C.; SANTOS, C. R.; Santos, A. A. **A expansão da atividade canavieira e interações com a rede hidrográfica na região do Pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil**. In: IX Seminário Latinoamericano e V Seminário Ibero-Americano de Geografia Física, 2016. Guimarães-Portugal, Livro de Atas, Guimarães - Portugal: Universidade do Minho, UMDGEO - Departamento de Geografia, 2016, p. 611–622.

ROCHA, P. C. Geomorfologia e conectividade hidrodinâmica em sistemas fluviais aluviais: uma revisão conceitual. 2015. 55 f. **Relatório**. Estágio de Pós-Doutoramento – Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente (GEMA) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais (PEA) - Universidade Estadual de Maringá / School of Environmental Science – University of Liverpool (uk), Maringá/Liverpool, 2015.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de Herbicidas**, 4ª ed., Londrina: Ed. dos Autores, 1998, 648 p.

SABIK, H.; JEANNOT, R.; RONDEAU, B. **Multiresidue methods using solid-phase extraction techniques for monitoring priority pesticides, including triazines and degradation products, in ground and surface waters**. Journal of Chromatography A, v. 885, n. 1-2, p. 217– 236, 2000.

SÃO PAULO. Governo de São Paulo. **Observatório de Saúde Ambiental**. Secretaria de Estado da Saúde de SP, 2018. <http://www.saude.sp.gov.br/cve-centro-de-vigilanciaepidemiologica-prof.-alexandre-vranjac/areas-de-vigilancia/doencas-ocasionadas-pelo-meioambiente/observatorio-de-saude-ambiental> (acesso em 10/05/2018).

SANTOS, A. A., CARMO, B. A.; ROCHA, P. C. **Análise da apropriação do meio físico pela implantação da cana-de-açúcar na unidade de gerenciamento de recursos hídricos do Pontal do Paranapanema-SP**. In: Nelson Vicente Lovato Gasparetto; Marta Luzia de Souza (Org.). Ambientes Naturais: dinâmica e evolução, 1ª ed., Maringá-PR: PGE, 2018, p. 13-23.

THOMAZ JUNIOR, A. **Trabalho e saúde no ambiente destrutivo do agrohidronegócio canavieiro no Pontal do Paranapanema (SP) Brasil**. Revista Pegada, Presidente Prudente, v. 15, n. 2, dez 2014. p. 4-18.

TONIETO, T. A. P. **Dinâmica dos herbicidas tebuthiuron e hexazinona no sistema de cana crua**. Dissertação (Mestrado em Ciências) Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba – SP, 2014, 75 p.

UCHIDA, M.; TAKUMI, S.; TACHIKAWA, K.; YAMAUCHI, R.; GOTO, Y.; MATSUSAKI, H.; NAKAMURA, H.; KAGAMI, Y.; KUSANO, T.; ARIZONO, K. **Toxicity evaluation of glyphosate agrochemical components using Japanese medaka (*Oryzias latipes*) and DNA microarray gene expression analysis.** The Journal of Toxicological Sciences, v. 37, n. 2, p. 245-254, 2012.

VARONA M.; HENAO, G. L.; DÍAZ, S.; LANCHEROS, A.; MURCIA, A.; RODRÍGUEZ, N.; ÁLVAREZ, V. H. **Evaluación de los efectos del glifosato y otros plaguicidas en la salud humana en zonas objeto del programa de erradicación de cultivos ilícitos.** Biomédica, v. 29, p. 456-475, 2009.