



## Contaminação de águas superficiais por agrotóxicos em função do uso do solo numa microbacia hidrográfica de Agudo, RS

Edson C. Bortoluzzi<sup>1</sup>, Danilo dos S. Rheinheimer<sup>2</sup>, Celso S. Gonçalves<sup>2</sup>, João B.R. Pellegrini<sup>2</sup>, Renato Zanella<sup>3</sup> & André C.C. Copetti<sup>2</sup>

### RESUMO

Realizou-se este trabalho com o intuito de quantificar a presença de moléculas de agrotóxicos em águas superficiais de três unidades paisagísticas (UP) com diferentes configurações de uso, numa microbacia hidrográfica de cabeceira em Agudo, RS. Dois coletores semi-automáticos de água foram instalados no córrego de cada UP, onde se coletaram amostras, por ocasião de chuvas, em três épocas da cultura do fumo: transplante, aterramento junto aos pés da cultura (planta com 6-10 folhas) e colheita. Os princípios ativos imidacloprid, atrazina, simazina e clomazone foram quantificados por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência com Detecção no Ultravioleta (HPLC-UV). Clorpirifós, flumetralin e iprodione foram analisados por Cromatografia Gasosa com Detecção por Captura de Elétrons (GC-ECD), porém não apresentaram concentrações detectáveis nas amostras. Os pontos de coleta cuja UP se configurou com a presença de lavouras com fumo e de reduzida mata ciliar, mostraram pelo menos um princípio ativo de agrotóxico e em uma época; contudo, nenhum agrotóxico foi detectado na UP, que se apresentou totalmente coberta com vegetação permanente ou com expressiva proteção dos córregos pela mata ciliar.

**Palavras-chave:** SIG, erosão, HPLC, paisagem, fumo

## Contamination of surface water by pesticides as a function of soil use in the Agudo watershed, RS

### ABSTRACT

This work was accomplished with the intention of quantifying the presence of pesticide molecules in surface waters of three landscape units (LU) with different usage configurations in the Agudo watershed of the State of Rio Grande do Sul, Brazil. Two semiautomatic water collectors were installed at the stream of each LU, from which samples were collected during rain over three stages of the tobacco growing season: seedling transplant, tobacco plants with 6-10 expanded leaves, and at harvest. Imidacloprid, atrazine, simazine, and clomazone compounds were quantified by High Performance Liquid Chromatography with Ultraviolet Detector (HPLC-UV). Chlorpyrifos, flumetralin and iprodione were analyzed by Gas Chromatography with Electron Capture Detector (GC-ECD), but these compounds were not detected in the samples. The sampling points where the LU was configured with both the presence of tobacco crops and reduced gallery forest, showed at least one pesticide compound in a sampling time. No pesticide was detected in the LU, which is completely covered with permanent vegetation or with gallery forest protecting the water courses.

**Key words:** GIS, erosion, HPLC, landscape, tobacco

<sup>1</sup> FAMV/Universidade de Passo Fundo, Campus I, CP 611, CEP 99001-970, Passo Fundo, RS. Fone/Fax: 55 54 316 81 52. E-mail: edsonb@upf.br

<sup>2</sup> Departamento de Solos/UFSM. CEP 97105-900, Santa Maria, RS. Fone/Fax: 55 220 8108. E-mail: danilo@ccr.ufsm.br

<sup>3</sup> Departamento de Química/UFSM. Tel/Fax: 55 55 220 8011; E-mail: rzanella@base.ufsm.br

## INTRODUÇÃO

O impacto da atividade humana sobre um território pode ser facilmente avaliado através do diagnóstico da qualidade das águas superficiais. Neste sentido, a avaliação de parâmetros como carga de sedimentos e de organismos, metais pesados, fósforo e moléculas de agrotóxicos em águas de microbacia hidrográfica (MBH) auxilia na determinação do nível de poluição, subsidiando a sua identificação e origem, permitindo a elaboração de estratégias adequadas de manejo (Rheinheimer et al., 2003). Para garantir ampla proteção ambiental é necessário manter, no mínimo, os parâmetros de qualidade de água dentro de limites preestabelecidos por órgãos brasileiros e internacionais de proteção ambiental (Brasil, 1986; CEE, 1980). No Brasil, as águas classificadas em “classe I”, podem ser destinadas ao consumo humano sem tratamento prévio, como aquelas encontradas em nascentes de morros protegidas por uma exuberante vegetação nativa com interferência humana incipiente. As áreas que mostram esta configuração são chamadas MBHs de cabeceira e a preservação das suas águas é a premissa básica à preservação ambiental (Brasil, 1986).

No Rio Grande do Sul inúmeras são as MBHs de cabeceira que possuem uma atividade agrícola intensa, principalmente com o cultivo de fumo. A preferência por esta cultura se deve a um conjunto de fatores, como a predominância de pequenas propriedades, a disponibilidade de mão-de-obra, a ausência do Estado, em termos de programas assistências e estratégicos, a rentabilidade econômica elevada por unidade de área e a não necessidade de conhecimentos em planejamento e em administração da propriedade. O uso indiscriminado de insumos ferti-sanitários e o manejo do solo fora de sua aptidão agrícola, aliado à falta de consciência da população na proteção do solo e das vertentes, aumentam a probabilidade de poluição ambiental (Rheinheimer et al., 2003). Ademais, fatores pedo-climáticos intrínsecos a essas regiões, como alta pluviometria, presença de solos rasos e arenosos e com declividade acentuada, podem potencializar a ação do homem na transferência de poluentes dos sistemas terrestres aos aquáticos (Spongberg & Martin-Hayden, 1997).

Em especial, cerca de 20% das quantidades dos agrotóxicos usados como tratamento profilático de plantas, podem alcançar as águas superficiais (Barriuso et al., 1996). Esta alíquota só não é superior porque existem alguns processos que atuam na imobilização de moléculas de agrotóxicos, diminuindo a quantidade de poluente. À exceção do processo de evaporação de moléculas de agrotóxicos, que é controlado pelas condições ambientais, a adsorção de moléculas pelas cargas dos constituintes de solo pode abreviar, de forma significativa, a transferência de agrotóxicos, como também de elementos traços metálicos e, por consequência, diminuir o risco de poluição das águas sub-superficiais (Schwarzenbach et al., 1993; Barriuso et al., 1996; Kastenholz et al., 2001); contudo, mesmo em solos argilosos com maior capacidade de adsorção de cátions e ânions, que funcionam como agente tampão, verifica-se que a transferência de agrotóxicos pode ocorrer pela perda de sedimentos através da erosão, fator li-

gado ao mau manejo do solo (Spongberg & Martin-Hayden, 1997; Barriuso et al., 1996).

Assim, a transferência de moléculas de agrotóxicos dos ecossistemas terrestres aos aquáticos é uma constante, sobretudo em áreas agrícolas devido ao uso de quantidades elevadas e de tipos diferentes de princípios ativos por área e às altas taxas de erosão do solo (Bortoluzzi, 2004; Lins et al., 2001). Segundo von Sperling (1996), Hatfield (1993) e Hatfield et al. (1995), a poluição oriunda da atividade agrícola é considerada do tipo difusa, de difícil identificação, monitoramento e, conseqüentemente, controle. Neste sentido, o monitoramento da qualidade das águas superficiais em unidades paisagísticas, com diferentes configurações de uso em MBH, pode auxiliar na escolha de critérios de uso do solo e preservar o recurso água (Franco, 1997). Objetivou-se, com o presente trabalho, investigar a presença de agrotóxicos em águas superficiais de cursos d'água em uma microbacia hidrográfica de cabeceira com cultivo de fumo, observando-se a configuração de uso do solo das unidades paisagísticas que a compõem.

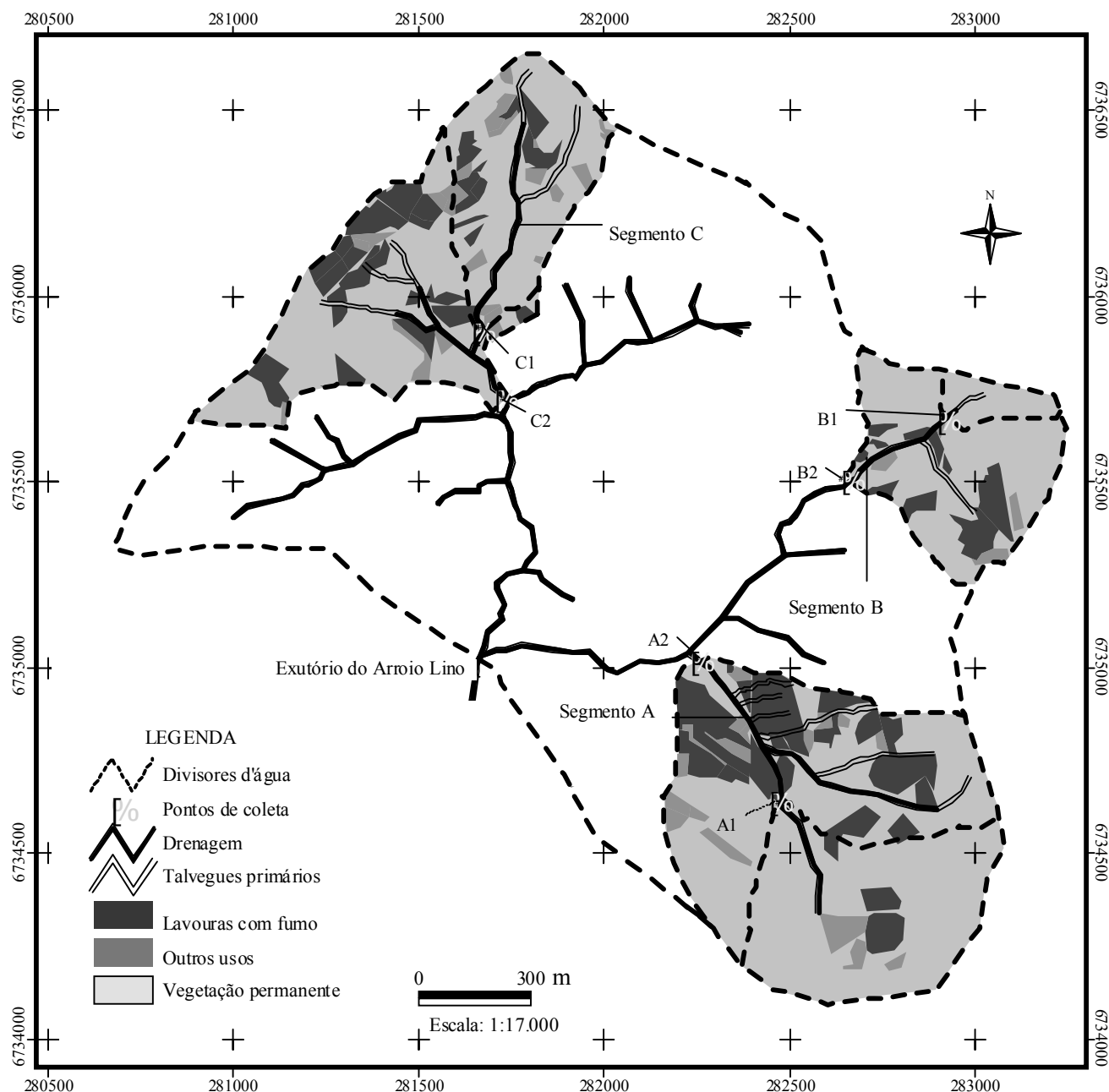
## MATERIAL E MÉTODOS

### Localização e caracterização da microbacia hidrográfica

A MBH estudada está localizada na encosta basáltica do Rio Grande do Sul, entre a Depressão Central e o Planalto Médio, pertencente ao distrito de Nova Boemia, no município de Agudo. Com 480 ha de superfície, a MBH é composta pela rede de drenagem do Arroio Lino, afluente do rio Jacuí. O relevo é ondulado a fortemente ondulado, chegando a ser montanhoso em determinados pontos. Os solos predominantes são rasos, classificados como Neossolo e Chernossolo (Dalmolin et al., 2003) e são, quando cultivados com fumo, preparados de forma convencional, preconizado para a cultura. Poucas práticas conservacionistas e um intenso uso de insumos ferti-sanitários são também características desta cultura. A cobertura vegetal natural pertence à mata atlântica e as áreas remanescentes são localizadas principalmente em áreas íngremes, próximas aos divisores de água, visto que grandes extensões de área com vegetação permanente foram utilizadas no passado como lavouras apresentando, doravante, mata secundária, capoeirões ou mesmo pastagens com espécies nativas. A distribuição fundiária da região é baseada na pequena propriedade de produção familiar (área menor que um módulo rural, média de 10 ha).

A delimitação do trajeto dos córregos (segmentos) e a identificação dos pontos de coleta das amostras, foram levantadas com auxílio de fotos aéreas da MBH e por caminhamento com aparelho de GPS, com precisão de navegação (Figura 1).

Em cada segmento monitoraram-se informações devidamente georreferenciadas dos recursos naturais presentes e das práticas agrícolas realizadas no ano de 2003; áreas correspondendo a diferentes usos foram determinadas por caminhamento perimétrico com GPS e também os pontos das nascentes e a trajetória dos cursos d'água foram levantados; essas informações alimentaram um banco de dados, no qual



**Figura 1.** Mapa da microbacia hidrográfica do Arroio Lino, Agudo, RS, Brasil. As vertentes de primeira, segunda e terceira ordens são representadas com traços pretos e os pontos de coleta das amostras de água, com quadrados vazados. As áreas geométricas com tonalidade de cinza representam os diferentes usos do solo no ano de 2003. As linhas pontilhadas delimitam as sub-bacias

foram posteriormente trabalhadas, em sistema de informações georreferenciadas (SIG), com auxílio do software ArcView 3D. As áreas com diferentes usos foram, então, identificadas e classificadas como vegetação permanente (mata nativa, pastagens nativas e reflorestamento), lavouras de fumo, outras lavouras, estradas e sedes das propriedades (Figura 1).

#### Locais de coleta

Após um estudo preliminar sobre as características dos segmentos e se considerando a configuração física (relevo, presença de córregos e vegetação) e a ação antrópica (usos) escolheram-se, para monitoramento, três unidades paisagísticas: A, B e C, segundo a definição de Franco (1997). Dois pontos de coleta de água foram identificados em cada uma

de paisagística, um próximo da nascente (ponto 1, montante) e outro na posição mais baixa do terreno (ponto 2, jusante); ambos representam sub-bacias com situação específica de uso dos recursos naturais. A proteção das nascentes e a distância horizontal dos pontos de coleta às lavouras com fumo, a distância vertical entre as lavouras com fumo e os pontos de coleta, também foram avaliados (Tabela 1).

As características principais das unidades paisagísticas são apresentadas a seguir:

Unidade paisagística "A": uso intensivo do solo nas duas sub-bacias estudadas (pontos A1 e A2), relevo bastante ondulado, lavouras próximas aos cursos d'água, sem proteção das nascentes e dos segmentos.

Unidade paisagística "B": uso do solo com floresta nativa

**Tabela 1.** Área total (ha), área relativa (%) com presença de lavoura e com cobertura florestal abrangentes nos seis pontos de coleta de água da microbacia de Agudo, RS, Brasil, 2005

Características das sub-bacias que contribuem com os pontos de coleta	Pontos de coleta					
	A1	A2	B1	B2	C1	C2
Área total de abrangência, ha	26,4	63,9	3,1	23,6	20,6	49,0
Cobertura vegetal permanente, ha	21,5	44,7	3,1	18,5	16,5	34,1
Cobertura vegetal permanente (CVP), %	81,5	70,0	100	78,7	79,7	69,7
a) Floresta, % da CVP	93,5	93,0	100	96,7	90,3	77,6
b) Pastagem, % da CVP	4,8	3,7	0	0,0	4,7	13,5
c) Reflorestamento (eucalipto), % da CVP	1,7	3,3	0	3,3	5,0	8,9
Área de lavoura com fumo, ha	1,7	13,7	0	3,5	2,3	9,1
Áreas de lavoura com fumo, %	6,6	21,5	0	14,7	10,9	18,5
Outros usos, ha	3,2	5,5	0	1,5	1,9	5,8
<sup>1</sup> Distância horizontal média entre as lavouras com fumo e o ponto de coleta, m	322	493	-	232	463	472
<sup>2</sup> Distância horizontal média entre as lavouras com fumo e o segmento, m	98	100	-	82	99	135
Distância vertical média entre a parte mais baixa da lavoura e o ponto de coleta, m	75	84	-	17	96	76
<sup>3</sup> Presença de mata ciliar, escala de 0-5	0	0	5	3	4	4

<sup>1</sup> Distância medida no sentido do declive pelo interior do córrego até o ponto mais próximo da entrada de água oriunda das lavouras;

<sup>2</sup> Distância medida no sentido do declive a partir do ponto de lavoura mais próximo do córrego até o córrego;

<sup>3</sup> Escala de 0 a 5, em que 0 é a ausência de mata ciliar e 5 é 100% de mata ciliar

(ponto B1) e uso intensivo do solo (ponto B2), nascente protegida com vegetação permanente (B1), segmento pouco protegido por mata ciliar (B2).

Unidade paisagística “C”: uso intensivo do solo (pontos C1 e C2), proteção dos segmentos d’água com vegetação permanente, lavouras distantes dos cursos d’água em ambos os pontos.

#### Estratégias de amostragem

Para cada ponto de coleta de água e sedimento instalou-se, no leito do curso d’água, um coletor semi-automático, que funciona a partir do início e durante os eventos pluviométricos. Os coletores são uma adaptação do modelo US U-59, conhecido como a técnica de rising-stage sampler (CEW-EH-Y, 1995) cujo sistema consiste na fixação de mangueiras em suportes de madeira, regulados a cinco centímetros acima do nível normal da lâmina d’água (fluxo de base) as quais, por sua vez, conduzem a água e os sedimentos, por diferença de nível, aos recipientes de vidro instalados à jusante. Os recipientes possuem um orifício o qual é fixada uma outra mangueira para a saída do ar.

#### Épocas de coleta

As amostragens foram realizadas em três eventos pluviométricos ocorridos durante o ciclo da cultura do fumo; a primeira coleta de água ocorreu no dia cinco de outubro de 2003 (5/10/2003), correspondendo ao período final do transplante das mudas de fumo a campo (transplante das mudas); nesta época, o solo estava praticamente todo revolvido pelo cultivo convencional e, em algumas glebas, com cultivo mínimo mas com plantas de cobertura apresentando baixos índices de cobertura de solo, enquanto a segunda coleta foi realizada no dia 25 de outubro de 2003 (25/10/2003), no final da fase de aterramento, junto aos pés da cultura do fumo (plantas com 4-10 folhas); a terceira coleta foi realizada em 15 de dezembro de 2003 (15/12/2003), durante a plena colheita do fumo (colheita) o que corresponde ao terço final do ciclo da cultura, quando o solo se apresentava praticamente coberto pela cultura do fumo.

#### Acondicionamento das amostras

Logo após o final da chuva, as amostras de água foram recolhidas e acondicionadas em caixa térmica com gelo e transportadas para o Laboratório de Análises de Resíduos de Pesticidas (LARP) do Departamento de Química da Universidade Federal de Santa Maria. O armazenamento das amostras de água seguiu as orientações da Agência Americana de Controle Ambiental US EPA. As amostras de água foram coletadas em frascos de vidro com capacidade de um litro, de cor âmbar, com boca larga e tampa com face interna recoberta com papel alumínio; os recipientes foram previamente descontaminados com solução de limpeza própria para a análise de resíduos de agrotóxicos (Extran® alcalino), enxaguados com metanol e secados em estufa a 105 °C.

#### Análise de agrotóxicos

Avaliaram-se os teores dos agrotóxicos mais utilizados na cultura do fumo e se analisaram os princípios ativos clorpirifós, flumetralin e iprodione por Cromatografia Gasosa com Detecção por Captura de Elétrons (GC-ECD), enquanto os princípios ativos imidacloprid, atrazina, simazina e clomazone foram por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência com Detecção Espectrofotométrica no Ultravioleta (HPLC-UV). Inicialmente, realizaram-se a otimização e a validação do procedimento analítico em que se englobaram várias etapas (Zanella et al., 2003), tais como obtenção dos limites de detecção, quantificação, linearidade e precisão. Para determinação da concentração dos agrotóxicos nas amostras de água, foi conveniente uma concentração prévia das amostras em cartuchos de extração em fase sólida (Solid Phase Extraction-SPE) contendo 500 mg de resina C<sub>18</sub>. Seguiu-se a eluição, com pequeno volume de um solvente adequado (metanol e acetato de etila, para as análises por HPLC-UV e GC-ECD, respectivamente) e se procedeu, então, à determinação cromatográfica.

Os limites de detecção em µg L<sup>-1</sup>, para as amostras de água de superfície, foram < 0,05 para clorpirifós, flumetralin e imidacloprid; < 10 para iprodione; < 0,1 para atrazina e simazina e < 0,2 para clomazone.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os princípios ativos clorpirifós, flumetralin, simazina e iprodione não foram detectados em nenhuma das amostras de água nas três épocas avaliadas, enquanto os princípios ativos imidacloprid, atrazina e clomazone o foram, em pelo menos uma das três coletas.

Na unidade paisagística A verificou-se, na primeira coleta, por ocasião do transplante das mudas de fumo para a lavoura, a ocorrência de imidacloprid e atrazina no ponto A1 (montante), com valores de 0,59 e 0,63  $\mu\text{g L}^{-1}$ , e no ponto A2 (jusante), com valores de 1,09 e 0,20  $\mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente (Tabela 2). Na segunda época de coleta, período de aterramento junto às plantas de fumo, os mesmos princípios ativos foram detectados no ponto A1, com valores de 2,18 e 0,27  $\mu\text{g L}^{-1}$ , enquanto no ponto A2 apenas o princípio ativo atrazina foi detectado, com valor de 0,19  $\mu\text{g L}^{-1}$ ; na terceira época de coleta, por ocasião da colheita do fumo apenas o herbicida atrazina foi encontrado no ponto A1 (montante), com valor de 0,37  $\mu\text{g L}^{-1}$ ; já no ponto A2 não foi possível coletar amostras de água para que fosse realizada a análise (Tabela 2).

A contaminação por agrotóxicos usados na cultura do fumo é concordante com a intensa ação antrópica observada na unidade paisagística A. A área ocupada com as lavouras de fumo em relação à área total das sub-bacias, chega a 7% para o ponto A1 e 22% para o ponto A2 (Tabela 1). Nas lavouras, embora estejam relativamente distantes dos pontos de coleta

A1 e A2, em média 322 m e 493 m, respectivamente, a proteção das margens do córrego e mesmo das nascentes pelas florestas (mata ciliar) é incipiente (Tabela 1).

Na primeira época de coleta na unidade paisagística B, em ambos os pontos (B1 e B2) não foi detectado nenhum dos princípios ativos estudados; na segunda época, ou seja, aterramento junto aos pés de fumo, a amostra de água do ponto B2, localizado à jusante, apresentou o princípio ativo clomazone e atrazina, com valores de 1,72 e 0,29  $\mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente (Tabela 2); referente à terceira coleta, quando da colheita do fumo apenas o princípio imidacloprid, com teor de 0,38  $\mu\text{g L}^{-1}$ , foi detectado no ponto B2 (Tabela 2) porém no ponto B1, localizado na montante, não se detectou qualquer princípio ativo dentre os analisados, de acordo, portanto, com o uso do solo na sub-bacia, ausência de lavouras com fumo e a totalidade da área com cobertura vegetal permanente (Tabela 1).

Na unidade paisagística C nenhum dos agrotóxicos analisados foi detectado nas amostras (Tabela 2). Nessa UP, a área de cobertura vegetal permanente é cerca de 79,7 e 69,7% para os pontos C1 e C2, sendo similares aos da unidade paisagística A, pontos A1 e A2, com cerca de 81,5 e 70,0% (Tabela 1); da mesma forma, as áreas de cultivo com fumo são, também, muito similares, 6,6 e 21,5% para A1 e A2 e 10,9 e 18,5% para os pontos C1 e C2, respectivamente (Tabela 1); contudo, o que explica a ausência de moléculas de agrotóxicos nas amostras de água da unidade paisagística C são, provavelmente, a distribuição espacial das lavouras com fumo, geralmente em áreas menos declivosas e mais distantes dos pontos de coleta, e a abundância de mata ciliar nas margens do segmento C.

Ressalta-se que, mesmo com a utilização de agrotóxicos nas lavouras com fumo, esses agrotóxicos não chegaram a quantidades que permitissem a sua detecção nas amostras de água do segmento C. É provável que a maior vazão do córrego C (talvegue de terceira ordem) tenha apresentado efeito de diluição da concentração dos poluentes na água, reduzindo a probabilidade de detecção, o que não ocorreu nos córregos A e B de primeira e segunda ordens, respectivamente, com menor vazão.

De maneira geral, todos os teores de agrotóxicos detectados nas amostras de água foram considerados elevados, ultrapassando o limite de 0,1  $\mu\text{g L}^{-1}$  de cada agrotóxico estabelecido para águas superficiais, pela comunidade europeia (CEE, 1980).

Deve-se dar especial atenção ao imidacloprid, segundo agrotóxico, em termos de frequência de ocorrência, sendo encontrado na água do córrego de duas sub-bacias; trata-se de um inseticida sistêmico de ampla utilização na fumicultura e em outras culturas, cuja introdução diminuiu sensivelmente a utilização de vários outros inseticidas, inclusive do clorpirifós. A ausência de clorpirifós nas amostras de água avaliadas pode indicar que seu uso na MBH esteja sendo diminuído, graças à ação da Universidade, via programa de monitoramento ambiental do Programa RS-Rural, o qual está sendo substituído pelo imidacloprid, com ação similar; todavia, o imidacloprid apresenta efeito residual muito longo (González-Pradas et al., 2002) de modo que, quando aplicado na sementeira, protege a cultura durante todo o seu ciclo mas

**Tabela 2.** Teores de agrotóxicos em amostras de água coletadas durante o ciclo da cultura de fumo na microbacia hidrográfica do Arroio Lino, Agudo, RS, Brasil, 2005

Pontos de coleta <sup>1</sup>	Imidacloprid	Atrazina	Simazina	Clomazone
$\mu\text{g L}^{-1}$				
5 de outubro de 2003 (transplante de mudas de fumo)				
A1	0,59	0,63	nd	nd
A2	1,09	0,20	nd	nd
B1	-	-	-	-
B2	nd	nd	nd	nd
C1	-	-	-	-
C2	nd	nd	nd	nd
25 de outubro de 2003 (aterramento junto aos pés de fumo)				
A1	2,18	0,27	nd	nd
A2	nd	0,19	nd	nd
B1	nd	nd	nd	nd
B2	nd	0,29	nd	1,72
C1	-	-	-	-
C2	-	-	-	-
15 de dezembro de 2003 (colheita, 2/3 do ciclo da cultura)				
A1	nd	0,37	nd	nd
A2	-	-	-	-
B1	nd	nd	nd	nd
B2	0,38	nd	nd	nd
C1	nd	nd	nd	nd
C2	nd	nd	nd	nd

<sup>1</sup> Pontos de coleta nas unidades paisagísticas A, B e C, sendo o ponto 1 na montante e 2 na jusante - não coletada amostra de água  
nd - teor menor que o limite de detecção do procedimento analítico: clorpirifós, flumetralin e imidacloprid: nd < 0,05  $\mu\text{g L}^{-1}$ ; iprodione: nd < 10  $\mu\text{g L}^{-1}$ ; atrazina e simazina: nd < 0,1  $\mu\text{g L}^{-1}$ ; clomazone: nd < 0,2  $\mu\text{g L}^{-1}$

## CONCLUSÕES

sua presença foi comprovada nos mananciais de águas superficiais, o que carece de uma reflexão sobre seu uso indiscriminado e a falta de cuidado com as águas residuais do sistema float, de produção de mudas e com o destino das embalagens. Ademais, este princípio ativo apresenta alta mobilidade no solo (González-Pradas et al., 2002), o que pode ser um inconveniente ambiental em áreas planas, com solos arenosos e lençol freático raso.

A presença de princípios ativos de herbicidas, atrazina e clomazone, nas amostras de água coletadas na fase do aterramento do fumo, está de acordo com a época de aplicação desses agrotóxicos. Nos últimos anos foi notório um incremento significativo no consumo de herbicidas, a ponto de, atualmente, ser o grupo de agrotóxico mais consumido na fumicultura, devido ao crescimento da área cultivada e do conseqüente aumento da demanda de mão-de-obra agravada pelo êxodo rural dos jovens. Neste sentido, é provável que os herbicidas sejam mais freqüentemente detectáveis em águas em monitoramentos futuros, inclusive em águas sub-superficiais.

Esses resultados confirmam a importância de um planejamento através do qual se respeite a presença de cobertura florestal nas áreas de encostas e nas margens dos cursos d'água, a fim de preservar a qualidade das águas superficiais, mesmo apresentando uma cobertura vegetal permanente não desprezível, de cerca de 70,0 a 81,5% (A1 e A2, Tabela 1). Por outro lado, a prática de uma agricultura intensiva com manejo convencional de solo e elevado consumo de insumos ferti-sanitários perpetuará condições favoráveis ao processo de contaminação e poluição das águas superficiais. Neste sentido, os inseticidas de substituição, como o imidacloprid e os herbicidas, que tendem a ser usados com maior intensidade e freqüência, atrazina e clomazone, serão os de maior probabilidade de detecção em monitoramentos futuros em águas superficiais.

Salienta-se que, embora a área cultivada com fumo seja aparentemente reduzida na MBH, é suficiente para que se configure, neste ambiente, um potencial de poluição acima dos limites preconizados pelos órgãos ambientais, indicando que a redução da área com fumo e medidas que venham diminuir o uso de ferti-sanitários, constituem uma necessidade a ser alcançada em curto prazo. Percebe-se, então, que em um primeiro momento, a alteração da matriz produtiva das propriedades da MBH é bastante difícil, em decorrência do "status quo" estabelecido durante anos pelas empresas fumageiras e pela atuação incipiente por parte da assistência técnica oficial; contudo, durante anos a atividade agrícola foi avaliada pela capacidade produtiva e econômica, com conseqüências ambientais óbvias relatadas em estudos recentes (Bosshard, 2000; Rheinheimer et al., 2003; Bortoluzzi, 2004). Doravante, a preservação ambiental de MBH de cabeceira é fundamental não só para a sustentabilidade dos ecossistemas e para o gerenciamento do abastecimento de água aos grandes centros urbanos mas, também, para as atividades agrícolas de cunho comercial oriundas dessas áreas, que se deverão enquadrar nas exigências ambientais internacionais mais severas (Andreoli & Tellarini, 2000; von Virén-Lehr, 2001).

1. A qualidade das águas superficiais oriundas de sub-bacias hidrográficas foi comprometida devido à presença de princípios ativos dos agrotóxicos imidacloprid, atrazina e clomazone.

2. As águas dos córregos margeadas por lavouras com fumo tendem a apresentar agrotóxicos e não se enquadram na classe I de qualidade de água preconizada pelo CONAMA.

3. As sub-bacias com predominância de vegetação nativa próxima aos córregos (mata ciliar), embora apresentando lavouras com fumo distantes dos córregos tenderam a não transferir moléculas de agrotóxico às águas superficiais das amostras estudadas nos níveis de detecção dos métodos empregados.

## LITERATURA CITADA

- Andreoli, M.; Tellarini, V. Farm sustainability evaluation: methodology and practice. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v.77, n.1-2, p.43-52, 2000.
- Barriuso, E.; Calvet, R.; Schiavon, M.; Soulas, G. Les pesticides et les polluants organiques des sols: transformations et dissipation. *Étude et Gestion des Sols*, Ardon, v.3, n.4, p.279-296, 1996.
- Bortoluzzi, E.C. Caracterização quali-quantitativa de sedimento fluvial oriundo da microbacia hidrográfica fumageira de Agudo, Rio Grande do Sul Brasil. Brasília: Bortoluzzi, E.C., 2004. 75p. Relatório Técnico CNPq.
- Bosshard, A. A methodology and terminology of sustainability assessment its perspective for a rural planning. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v.77, n.1-2, p.29-41, 2000.
- Brasil. Ministério do Desenvolvimento Humano e Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 20 de 10 de junho de 1986. Brasília: DOU, 1986. 92p.
- CEE. Directiva 80/778/CEE relativa a qualidade de águas destinadas ao consumo humano. *Jornal oficial da comunidade europeia*. Bruxelas. N.L299, 1980. 20p.
- CEW-EH-Y. Engineering and design: sedimentations investigations of rivers and reservoirs. Department of the Army. United States Army Corps of Engineers, Manual nº 1110-2-4000, Washington: United States Army Corps of Engineers, 1995. 177p.
- Dalmolin, R.S.D.; Pedron, F.A.; Azevedo, A.C.; Zago, A. Levantamento semidetalhado de solos da microbacia do arroio Lino-Município de Agudo (RS). Relatório Técnico Programa RS-Rural/SAA-RS, Santa Maria: FATEC/UFSM, 2003. 84p.
- Franco, M.A.R. Desenho ambiental: uma introdução à arquitetura da paisagem com o paradigma ecológico. São Paulo: Annablume, 1997. 224p.

- González-Pradas, E.; Ureña-Amate, M.D.; Flores-Céspedes, F.; Fernández-Pérez, M.; Garratt, J.; Wilkins, R. Leaching of imidacloprid and procymidone in a greenhouse of southeast of Spain. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.66, n.6, p.1821-1828, 2002.
- Hatfield, J.L. Sustainable agriculture: impacts on non-point pollution. *Water Science Technology*, Londres, v.28, n.3-5, p.415-424, 1993.
- Hatfield, J.L.; Jaynes, D.B.; Burkart, M.R. A watershed study to evaluate farming practices on water quality. In: National Agricultural Ecosystem Management Conference, 1995, New Orleans. Proceedings... West Lafayette: Conservation Technology Information Center, 1995, p.127-153.
- Kastenholz, U.; Kubiniok, J.; Kunkel, R. Modèle de répartition géoécologique du Cesium<sup>137</sup> à la suite de l'accident du réacteur nucléaire de Tchernobyl: contribution à la protection des sols en Sarre. *Étude et Gestion des Sols*, Ardon, v.8, n.3, p.189-202, 2001.
- Lins, M.; Bramorski, J.; Pinheiro, A.; Breuckmann, H. Influência da cobertura do solo e do comprimento da vertente no transporte de sedimentos. In: Paiva, E.M.C.D.; Paiva, J.B.D. (eds.). Caracterização quali-quantitativa da produção de sedimentos. Santa Maria: ABRH/UFSM, 2001. cap.1, p.11-23.
- Rheinheimer, D.S.; Gonçalves, C.S.; Pellegrini, J.B.R. Impacto das atividades agropecuárias na qualidade da água. *Ciência & Ambiente*, Santa Maria, v.27, n.2, p.85-96, 2003.
- Schwarzenbach, R.P.; Gschwend, P.M.; Imboden, D.M. *Environmental organic chemistry*, New York: John Wiley & Sons, 1993. 681p.
- Spongberg, A.; Martin-Hayden, J.M. Pesticide stratification in an engineered wetland delta. *Environmental Science and Technology*, Washington, v.31, n.11, p.3161-3165, 1997.
- von Sperling, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2.ed. Belo Horizonte: DESA, 1996. 243p.
- von Virén-Lehr, S. Sustainability in agriculture – an evaluation of principal goal-oriented concepts to close the gap between theory and practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v.84, n.2, p.115-129, 2001.
- Zanella, R.; Primel, E.G.; Gonçalves, F.F.; Kurz, M.H.S.; Mistura, C.M. Development and validation of a high-performance liquid chromatographic procedure for the determination of herbicides in surface and agricultural waters. *Journal of Separation Science*, Weinheim, v.26, n.9-10, p.935-938, 2003.