

Estudo da Presença de Pesticidas no Perfil do Solo, sob Diferentes Tipos de Culturas

Adilson Pinheiro, Marcos Rivail da Silva, Alberto Wisniewski Jr

Universidade Regional de Blumenau
pinheiro@furb.br; rivail@furb.br; albertow@furb.br

João Carlos de Souza Moraes

FAE Blumenau
mentorjc@terra.com.br

Affonso Celso Gonçalves Jr

Universidade Estadual do Oeste do Paraná
affonso133@hotmail.com

Recebido: 15/09/08 - revisado: 12/03/09 - aceito: 13/07/09

RESUMO

Este trabalho visa a avaliar o movimento dos pesticidas no perfil do solo, sob diferentes culturas, em área de estudo localizada no município de Ituporanga em Santa Catarina. Foram realizadas amostragens de solo, nas profundidades de 0 – 20, 40 – 60 e 80 – 100 cm, em três áreas amostrais, ao longo de 2 anos, nas quais são realizadas rotações de culturas e cultivo convencional, abrangendo milho, cebola, batata, feijão e beterraba. Para cada amostra foram determinadas as concentrações dos pesticidas 2,4-D, alacloro, atrazina, diuron, azoxistrobina, metalaxyl, metconazol, tebuconazol, lambda-cialotrina. Verificou-se que as concentrações médias dos pesticidas variaram entre 7,7 e 326 ng g⁻¹, sendo que todas as moléculas foram detectadas nas parcelas e nas diferentes camadas ao longo do perfil do solo. Não ficou evidenciada a influência das culturas desenvolvidas sobre os valores de concentrações medidas. Isto significa que todas as culturas apresentam potencial de acumulação de pesticidas no perfil do solo. O manejo e a textura do solo aparentam influenciar fortemente na distribuição das concentrações ao longo da profundidade.

Palavras-chave: mobilidade, percolação, rotação de culturas.

INTRODUÇÃO

A agricultura representa um setor de grande importância para a economia nacional. Extensas áreas de solo são utilizadas para a produção de alimentos e matéria prima para produção de combustível. Pesticidas são utilizados no controle de agentes indesejáveis ou nocivos, visando a aumentar a produtividade agrícola. O seu uso pode gerar impactos ambientais negativos, como degradação do solo e dos recursos hídricos (Carter, 2000; Pempkowiec et al., 2000). O transporte vertical ocorre devido a percolação da água através da matriz porosa do solo. Em alguns casos, a existência de macroporos proporciona a existência de fluxo preferencial e causa movimento rápido da substância química através da zona não saturada (Reichenberger et al., 2002). Técnicas podem ser utilizadas para redução dos

impactos negativos gerados pela aplicação de pesticidas em áreas agrícolas (Reichenberger et al., 2007)

Os pesticidas aplicados são submetidos a diferentes fatores que regem o seu comportamento no solo, como a adsorção (Correia et al., 2007; Toni et al., 2006) e a degradação (Garbellini e Uliana, 2007). Estes fenômenos condicionam o potencial de degradação das águas superficiais e subterrâneas (Guzzella et al., 2003; Arias-Estévez et al., 2008). Propriedades intrínsecas dos pesticidas, características químicas e físicas dos solos e clima influenciam a lixiviação, sendo mais suscetíveis às substâncias com elevada solubilidade em água e fraca adsorção aos colóides do solo. A parte do pesticida mais móvel é aquela localizada nas fases líquida e gasosa, e ela constitui a parte mais diretamente disponível à degradação pelos microorganismos do solo e ao transporte no perfil do solo. O aumento da adsorção diminui os riscos de transporte, mas pode tornar

difícil sua biodegradação (Alexander, 2000). A biodegradação é um dos principais mecanismos atuantes no processo de transformação do pesticida ao longo do tempo (Guo et al., 2000).

No Estado de Santa Catarina, poucos trabalhos têm sido realizados visando a avaliar a mobilidade, ao longo do perfil do solo, de pesticidas usados nas principais culturas agrícolas. Deste modo, este trabalho tem por objetivo identificar a evolução das concentrações dos pesticidas no perfil do solo, por percolação, em áreas com rotação de culturas agrícolas, em um Cambissolo Húmico Alumínico.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho compreende a amostragem do solo, ao longo do perfil do solo em parcelas agrícolas, sob diferentes culturas, visando à determinação das propriedades físicas e à concentração de moléculas de pesticidas. O tratamento estatístico das concentrações permite avaliar a variabilidade espacial e temporal dos resíduos de pesticidas encontrados.

A área de estudo localiza-se no município de Ituporanga, Estado de Santa Catarina (Figura 1). Ela é constituída de três parcelas, isoladas e independentes. A primeira parcela possui 8,0 ha, a segunda 2,5 e a terceira 60. As parcelas são denominadas A1, A2 e A3, respectivamente. O solo é classificado como Cambissolo Húmico Alumínico, relevo suavemente ondulado (EMBRAPA, 2004).

As áreas pertencem a um produtor agrícola, cuja família tem desenvolvido atividades agrícolas, com rotação de culturas, há mais de 40 anos no local. São cultivadas diversas culturas agrícolas. Não é realizada irrigação. As amostragens foram realizadas no período compreendido entre novembro de 2004 e dezembro de 2006. Neste período existiam nas parcelas as culturas de milho, cebola, feijão, batata e beterraba (Tabela 1). Em geral, são realizadas duas safras por ano em cada área. A cebola foi a cultura encontrada na maior parte das datas de coletas seguida pela de feijão. Em função do tipo de cultura, o produtor estabelece uma seqüência de aplicação de pesticidas, aplicando as doses médias recomendadas no receituário agrônômico.

Em cada parcela foram realizados dois tipos de amostragem. O primeiro tipo foi para a determinação das propriedades físicas do solo (granulometria, massa específica da partícula e porosidade). As amostragens foram realizadas em três pontos, escolhidos aleatoriamente, em cada área amostral. Elas

foram realizadas uma única vez, nas camadas do solo, de 0 a 20 cm, de 40 a 60 cm e 80 a 100 cm.

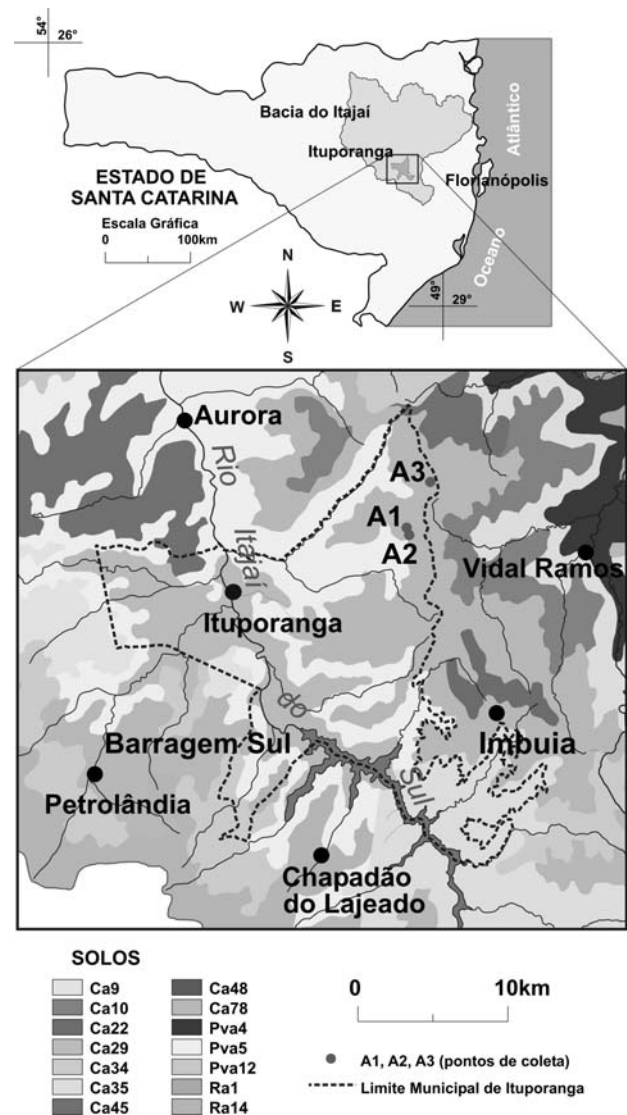


Figura 1 – Localização das áreas amostrais.

O segundo tipo de amostragem foi distribuída ao longo do tempo, compreendendo a coleta das amostras de solo para determinação das concentrações de pesticidas, nas mesmas camadas. As coletas foram realizadas em um ponto amostral, em cada área, em cada data de coleta. A escolha do local de amostragem foi aleatória, de modo que, em cada data de coleta, os pontos de amostragens eram posicionados em locais diferentes. As coletas foram realizadas nas datas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Distribuição temporal das coletas de amostras de solo e das culturas nas áreas amostrais.

Data Coleta	de Safra	Áreas Amostrais		
		A1	A2	A3
19/11/04	2004-2	Milho	Cebola	Batata
21/04/05	2005-1	Cebola	Milho	Batata
12/10/05	2005-2	Cebola	Batata	Repouso
25/11/05	2005-2	Cebola	Batata	Milho
07/01/06	2006-1	Repouso	Repouso	Repouso
04/02/06	2006-1	Feijão	Feijão	Beterraba
04/03/06	2006-1	Feijão	Feijão	Milho
29/04/06	2006-1	Feijão	Feijão	Milho
13/05/06	2006-1	Feijão	Feijão	milho
12/10/06	2006-2	Cebola	Cebola	Cebola
16/12/06	2006-2	Cebola	Cebola	Cebola

Para cada análise foi adotado um procedimento de amostragem. Para o ensaio de análise física foi coletado aproximadamente 200 g de solo e acondicionados em embalagens plásticas de 3 L. As amostras com estruturas indeformadas ao ensaio da massa específica do solo foram retiradas com anel volumétrico de 5,0 cm de diâmetro e altura da ordem de 5,0 cm. A amostragem para análise química dos pesticidas foi realizada com um trado do tipo holandês, de diâmetro de 4,5 cm e altura de 16 cm. Elas foram acondicionadas em sacos plásticos, mantidas refrigeradas, a uma temperatura inferior a 4°C, para posterior extração e análise por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC). Foram determinadas as concentrações das moléculas dos herbicidas 2,4-D (2,4-dichlorophenoxyacetic acid), alacloro (2-chloro-2,6-diethyl- N-methoxymethyl acetanilide), atrazina (2-chloro-4-ethylamino-6-isopropylamino-s-triazine) e diuron ([3-(3,4-diclorofenil)-1,1-dimetiluréia], dos fungicidas azoxistrobina (methyl (E)-2-[2-[6-(2-cyanophenoxy)pyrimidin-4-yloxy]-phenyl]-3-methoxyacrylate), metalaxyl (methyl N-(2-methoxyacetyl)-N-2,6-xylyl-D-alanina), metconazol (5-(4-chlorobenzyl)-2,2-dimethyl-1-(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl)-cyclopentanol), tebuconazol (RS)-1-p-chloropheny l-4,4-dimethyl-3-(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl)pentan-3-ol) e do inseticida lambda-cialotrina (λ -cyano-3-phenoxybenzyl - 3- (2- chloro - 3, 3 ,3 - trifluoroprop-1-enyl)-2,2-dimethyl cyclopropanecarboxylate). A figura 2 apresenta um exemplo de cromatograma de saída do HPLC.

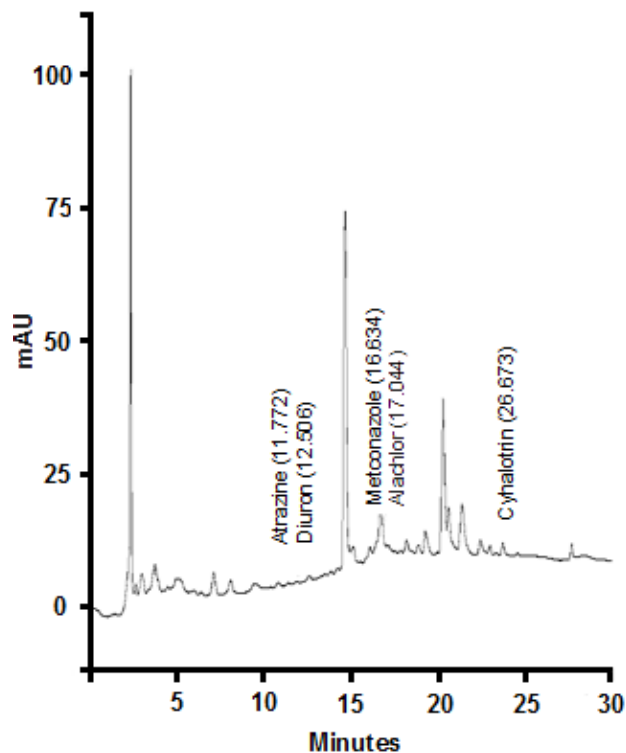


Figura 2 – Cromatograma de saída do HPLC

A granulometria foi determinada pelos ensaios de peneiramento e de sedimentação, descritos pela NBR 7181/84. O solo foi preparado de acordo com NBR 6457/86. Para a massa específica aparente, verificou-se a relação entre peso e o volume da amostra. A porosidade foi determinada pela relação entre a massa específica relativa da partícula e a massa específica aparente (Claessen, 1997). A condutividade hidráulica saturada do solo (Ks) foi estimada pela expressão proposta por Campbell (1985), em função da fração de silte e da fração de argila. Finalmente, a quantificação dos pesticidas nos solos foi realizada com um cromatógrafo líquido Varian® ProStar 230, com um detector UV-Vis ProStar 310 e comprimento de onda de trabalho de 214 nm. Foi utilizado a coluna C18 (250 x 4,6 mm, filme 5 µm) no processamento analítico. Para a fase móvel utilizou-se, inicialmente, álcool metílico 0%, acetonitrila 30% e H₂O 70%, equilibrando os solventes no final. O fluxo dos solventes na coluna foi de 1 mL min⁻¹. O tempo de corrida foi de 30 min, com uma pressão mínima de 400 atm e uma pressão máxima de 6 atm. O volume do extrato adicionado foi de 1 µL. Para a verificação da eficiência de extração dos pesticidas e viabilidade do método analítico, foram usados o

“surrogate” decachlorobiphenyl e o padrão interno 2,4,5,6 – tetrachloro – m – xylene. Na verificação da calibração do cromatógrafo líquido, foram utilizados padrões individuais das moléculas 2,4-D, alacloro, atrazina, diuron, azoxistrobina, metalaxyl, metconazol, tebuconazol, lambda-cialotrina, com a construção de curvas de calibração.

Os dados climatológicos foram obtidos junto ao Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina – CIRAM, pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária e de Extensão Rural de Santa Catarina SA – EPAGRI, relativos à estação meteorológica situada em Ituporanga (latitude 27°25'07"; longitude 49°38'46"; altitude de 475 m). Foram analisados os dados de precipitação diária, temperatura de solo desnudo, nas profundidades de 5, 10, 20 e 30 cm, coletadas às 9, 15 e 21h.

As séries de dados foram analisadas estatisticamente através de determinação de valores característicos, tais como valores médios, mínimos e máximos, e evoluções temporais das concentrações de pesticidas no perfil do solo nas camadas de 0 - 20 cm, de 40 - 60 cm e de 80 - 100 cm, nas diferentes áreas amostrais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características físicas do solo

A Tabela 2 apresenta as características físicas do solo, nas três profundidades analisadas. São apresentadas as massas específicas, as porosidades, as granulometrias e as condutividades hidráulicas à saturação estimada. As massas específicas médias variaram entre 1,00 e 1,32 g cm⁻³. Anjos et al. (1994) determinaram as massas específicas aparentes de solos agrícolas, em Santa Catarina, para diferentes tipos de sistemas de manejos agrícolas. Os valores variaram entre 0,95 g cm⁻³ para plantio direto em Cambissolo Bruno Húmico Álico a 1,35 g cm⁻³ para plantio convencional em Podzólico Vermelho-Escuro Distrófico. Comparando-se as massas específicas nas camadas de 0-20 e 80-100 cm, verifica-se que elas são decrescentes com a profundidade. No entanto, na camada de 40-60 cm, os valores das massas específicas apresentaram flutuação, tendo sido superiores ou inferiores aos valores da camada inferior. Nesta camada intermediária, as porosidades são, em geral, mais elevadas do que nas duas outras camadas.

A análise granulométrica resulta em solos classificados com classe textural franco siltoso, exce-

to a camada de 0-20 cm, da área A3 que apresentou porcentagem de silte de 84,24% e de argila de 5,58%, classificando-o com classe textural silte (Prevedello, 1996). Observa-se que, nas três áreas amostrais, as porcentagens de argilas foram crescentes com a profundidade, o que demonstra uma capacidade de troca catiônica (CTC) maior à medida que aumentam os teores de argila. Solos de textura mais argilosa possuem alta CTC e, desta forma, retém mais os elementos químicos em sua estrutura, e solos de textura mais arenosa possuem baixa CTC e, conseqüentemente, possuem maior tendência a percolarem e a lixiviarem seus componentes químicos no perfil do solo (Gonçalves Jr. et al., 2007). Resultado similar foi encontrado por Matallo et al. (2003) em Latossolo Vermelho Distrófico e em Neossolo Quartzarênico. Isto significa que as camadas mais profundas apresentam maior potencial para retenção das moléculas de pesticidas lixiviadas ao longo do perfil do solo.

A condutividade hidráulica saturada estimada através da composição granulométrica indica que a área amostral A2 apresenta os maiores valores, com pouca variação ao longo do perfil. Os menores valores foram estimados para as camadas de 0-20 e 80-100 cm, da área amostral A1. Na camada intermediária desta área, a condutividade é mais elevada. Na área amostral A3, as condutividades hidráulicas são baixas, mas com valores pouco variáveis. A condutividade hidráulica constitui um indicativo da capacidade de lixiviação das moléculas no perfil do solo. Assim, as áreas amostrais A1 e A3 devem apresentar potenciais de lixiviação equivalentes, quando analisadas em termos de suas condutividades hidráulicas de saturação. No entanto, devem ser mais baixas do que na área amostral A2.

Características climatológicas

A precipitação total do ano de 2005 foi de 1901,2 mm e no ano de 2006, foi de 1078,5 mm. Estes valores indicam que no ano de 2005 houve condições mais favoráveis ao transporte vertical dos pesticidas, dependendo das características do solo. Nesse ano, foi registrado o máximo mensal de 372,6 mm, no mês de setembro, com um máximo diário de 107,6 mm. Ressalta-se, ainda, que nesse mês houve mais um evento pluvioso intenso, com um total diário de 73,2 mm. Estes dois eventos pluviosos apresentam elevado potencial para movimentação vertical e horizontal dos pesticidas. A percolação da água infiltrada propicia o transporte do soluto no perfil do solo, por advecção e dispersão das moléculas em solução. No ano de 2006, verificou-se que

Tabela 2 – Características físicas do solo nas áreas amostrais.

Área Amostral	Profundidade (cm)	Massa específica (g cm ⁻³)	Porosidade (%)	Argila (%)	Silte (%)	Areia fina (%)	Areia média (%)	Condutividade-de hidráulica (m s ⁻¹)
A1	0 - 20	1,24	50,8	5,47	68,21	24,02	2,30	8,7 x10 ⁻⁵
	40 - 60	1,01	59,9	14,00	56,00	18,74	9,93	1,0 x10 ⁻⁴
	80 - 100	1,00	60,5	16,16	56,88	20,68	5,69	8,9 x10 ⁻⁵
A2	0 - 20	1,32	47,7	5,41	52,93	35,75	5,91	1,7 x10 ⁻⁴
	40 - 60	1,05	58,2	9,31	51,58	34,50	4,60	1,5 x10 ⁻⁴
	80 - 100	1,17	53,5	15,83	44,63	25,85	3,19	1,5 x10 ⁻⁴
A3	0 - 20	1,22	52,5	5,58	86,24	5,76	2,41	4,0 x10 ⁻⁵
	40 - 60	1,12	56,4	16,21	66,98	7,96	8,86	5,8 x10 ⁻⁵
	80 - 100	1,16	54,8	19,55	71,56	4,75	4,15	4,1 x10 ⁻⁵

nos meses de abril a julho, os totais mensais de precipitações foram baixos. Isto significa que nesses meses a capacidade de transporte por advecção no perfil vertical foi reduzida ou nula. Neste caso, apenas dispersão, devido à difusão molecular, poderia ocorrer. Além disto, eles podem sofrer os efeitos da degradação física, química e bioquímica, reduzindo a sua disponibilidade.

A evolução das temperaturas médias mensais é similar ao longo dos dois anos. A temperatura média mínima de 12,5 °C foi registrada no mês de julho de 2005 e, a máxima, igual a 23,9 °C, foi registrada no mês de janeiro de 2006. As temperaturas influenciam principalmente nas reações bioquímicas de decomposição dos pesticidas no solo. Temperaturas elevadas aceleram os processos bioquímicos de degradação das substâncias orgânicas. Considerando-se cinéticas de degradação de primeira ordem, as velocidades das reações nos dois meses extremos são diferentes. Para uma substância com tempo de meia vida de 20 dias, a velocidade da reação no mês mais frio é da ordem de 50% daquela do mês mais quente.

As temperaturas médias mensais, no perfil do solo, medidas à profundidade de 5, 10, 20 e 30 cm, variam com a profundidade. Em geral, nas camadas mais profundas as temperaturas são inferiores aquelas da camada de superfície. A diferença entre as temperaturas a 5 cm e 30 cm foi de 3,1°C, no mês de novembro de 2005. Isto indica que o pesticida que percola no perfil do solo, deve apresentar velocidade de degradação inferior àquele retido na camada superficial do solo.

Concentração de pesticidas

Foram realizadas 11 amostragens, em cada área amostral, nas profundidades de 0 - 20, 40 - 60 e 80 - 100 cm. Desta forma, o total de amostras de solo em cada área é 33. Na Tabela 3 são apresentadas as frequências de ocorrências das moléculas determinadas nas três áreas amostrais.

Observa-se que o tebuconazol é detectado com maior frequência na profundidade de 0-20 cm, sendo bastante frequente também nas profundidades de 40-60 cm e 80-100 cm. Ele é um fungicida indicado para aplicação nas culturas de batata, beterraba, feijão e milho, e é encontrado em 82% das amostras coletadas na camada de 0-20 cm, 64% na camada de 40-60 cm e 48% na camada mais profunda. Outro pesticida com bastante frequência é o metconazol, que é um fungicida indicado para aplicação nas mesmas culturas do anterior. Ele apresenta comportamento similar ao do tebuconazol, decrescendo ao longo do perfil, sendo 61% nas amostras da superfície e 42% nas amostras coletadas na camada mais profunda.

Em solos com características arenosas (73% areia; 12% silte e 14% argila), o tebuconazol degrada lentamente, com aproximadamente 70% permanecendo na camada de 0 - 10 cm em um período de três meses (Bending et al., 2007).

O herbicida diuron aparece com frequências variando entre 45% na camada mais profunda e 64% na camada de 40 - 60 cm. Ele é um herbicida indicado para pós-emergência para ervas daninhas. Comportamento similar é encontrado com a atrazina, que aparentemente apresenta boa mobilidade.

Ela apresentou frequência de ocorrência crescente ao longo do perfil. De acordo com o estudo do potencial de lixiviação realizado por Rosa (2007), estes dois pesticidas aparecerem com potencial de lixiviação, representando alto risco de degradação das águas superficiais e águas subterrâneas.

Tabela 3 – Frequência de detecção de pesticidas (%), para n = 33.

Pesticidas	Profundidade (cm)		
	0 - 20	40 - 60	80 - 100
2,4-D	21	12	18
Alacloro	15	18	9
Atrazina	33	42	55
Diuron	52	64	45
Azoxistrobina	36	48	33
Metalaxyl	52	42	42
Metconazol	61	45	42
Tebuconazol	82	64	48
Lambda-cialotrina	48	58	58

Na Figura 3 são apresentadas as concentrações médias dos pesticidas encontrados nas três camadas do perfil do solo. Nota-se que o tebuconazol e o metconazol, que foram detectados com maior frequência, apresentam as maiores concentrações médias ao longo do perfil. Elas variam entre 145,7 e 264,4 ng g⁻¹. Para os demais pesticidas, as concentrações médias ao longo do perfil são inferiores a 65 ng g⁻¹, exceto o 2,4-D, encontrado na camada superficial. Ressalta-se que a frequência de ocorrência do 2,4-D é baixa, entre 21% na superfície e 12% na camada intermediária. Em princípio, este pesticida, muito volátil, não deveria ser encontrado, pois ele é usado pelo produtor em área de pastagem. No entanto, verifica-se que no entorno das áreas tem-se a presença deste uso da terra e ele é recomendado para uso igualmente em milho e mandioca (MAPA, 2007). No caso de uso do pesticida apenas na área de pastagem, ele poderia ter sido transportado pelos escoamentos superficial e sub-superficial em direção às áreas cultivadas.

Na Tabela 4 são apresentadas as estatísticas das concentrações dos pesticidas obtidas nas três camadas do perfil do solo, nas áreas amostrais A1, A2 e A3. São apresentados os valores médios, os desvios padrões, os valores máximos e os valores mínimos. Observa-se que as concentrações médias, mínimas e máximas podem, em geral, ser da mesma

ordem de grandeza para todos os pesticidas. Esta situação pode ser produzida pelo trabalho de solo realizado, no qual a camada superficial é revirada, e tendo-se, como consequência, a transferência da massa de pesticidas às camadas inferiores. O uso de arado e de niveladora ocorre na preparação do solo (sistema convencional) nas culturas de milho, cebola, batata e beterraba.

A concentração máxima foi obtida para o tebuconazol. Assim, constata-se que ele ocorre com maior frequência e com maior concentração. Os valores elevados de concentrações máximas foram encontrados nas três camadas, sendo decrescentes ao longo da profundidade. Estes resultados estão de acordo com as estimativas realizadas por Rosa (2007), quando analisado em termos de lixiviação, expresso pelo coeficiente de GUS, que constatou que ele é considerado com potencial de lixiviação.

O alacloro e o diuron apresentam comportamento inverso. No caso do primeiro pesticida, as concentrações médias decrescem, enquanto no segundo, as concentrações médias crescem ao longo do perfil do solo. Existe evidência de que a concentração de diuron aumenta com a profundidade, mostrando que ele se move principalmente pelo transporte nos macroporos do solo sem grandes interações com o solo (Caracciolo et al., 2005). Esta situação não foi observada para os demais pesticidas. O metconazol e a azoxistrobina apresentaram concentrações médias decrescentes até a camada intermediária, apresentando concentrações mais elevada na camada de fundo. A atrazina, o metalaxyl, o tebuconazol e a lambda-cialotrina apresentaram maior concentração média na camada intermediária. Ferri et al. (2003) observaram que após 21 dias do tratamento, o acetacoloro apresentava concentrações da mesma ordem de grandeza, até a profundidade de 20 cm, em uma área com cultivo convencional.

Estudos em colunas de solo (Weber et al., 2007; Prichard et al., 2005) têm demonstrado que as concentrações são decrescentes ao longo do perfil do solo. Este comportamento é devido à ausência de alteração da estrutura do solo ao longo do tempo, nas colunas de solo. No caso do preparo do solo, em cada plantio convencional, o perfil vertical é alterado mecanicamente, promovendo redistribuição dos resíduos dos pesticidas aplicados na safra anterior. Também deve ser considerada a ação conjunta dos esforços hidrodinâmicos e dos fenômenos de adsorção e de degradação bioquímica das moléculas no solo. As condutividades hidráulicas de saturação são similares ao longo do perfil, implicando transporte homogêneo. As moléculas transportadas são mais absorvidas nas camadas inferiores que apresentam

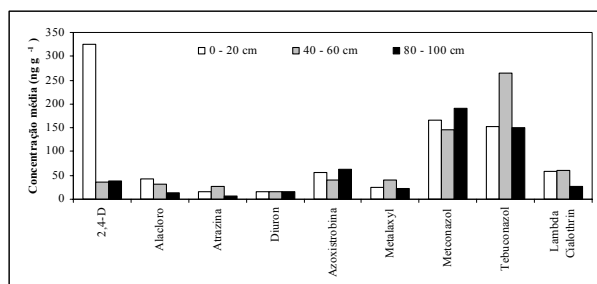


Figura 3 - Concentrações médias dos pesticidas no perfil do solo.

Tabela 4 – Valores estatísticos das concentrações nas diferentes profundidades, para n = 33

Pesticidas	Profundidade (cm)											
	0-20				40-60				80-100			
	C _{méd}	DP	C _{máx}	C _{mín}	C _{méd}	DP	C _{máx}	C _{mín}	C _{méd}	DP	C _{máx}	C _{mín}
2,4-D	326	400	847	4,2	35,1	32,1	79,7	5,9	39,2	71,9	184,1	2,9
Alacloro	43	39	95	2,3	31,0	24,6	55,2	2,2	13,2	2,0	14,4	10,9
Atrazina	15	20	56	2,6	26,9	65,3	252,8	2,0	7,7	5,4	24,2	2,1
Diuron	15	16	54	2,6	15,4	12,5	44,6	2,2	16,2	14,8	50,1	3,4
Azoxistrobina	55	88	306	2,8	39,8	64,1	235,5	2,9	63,2	105,7	306,4	3,0
Metalaxyl	24	21	79	4,9	41,2	66,1	252,8	3,1	23,1	16,4	55,8	2,8
Metconazol	165	221	645	2,6	145,7	220,9	651,3	2,0	190,5	310,3	815,9	4,1
Tebuconazol	153	274	1099	3,3	264,4	287,0	933,4	6,0	149,2	266,1	856,1	2,8
Lambda-cialotrina	58	99	385	2,6	60,5	70,5	275,6	2,8	26,9	43,3	190,9	2,4

C_{méd} – concentração média; DP – desvio padrão; C_{máx} – concentração máxima; C_{mín} – concentração mínima.

maiores teores de argila. Além disto, as temperaturas médias decrescem ao longo da profundidade, reduzindo assim a degradação das moléculas que foram transportadas. A combinação destes três fatores resulta em uma homogeneização das concentrações ao longo do perfil. A diferença de comportamento entre elas pode ocorrer devido às suas propriedades físico-químicas.

As concentrações de pesticidas foram correlacionadas com as precipitações ocorridas nas 24 e 96 horas que antecederam a coleta. Os coeficientes de correlações foram muito baixos ou mesmo nulos. Isto significa que é muito difícil avaliar um comportamento de movimento do pesticida ao longo do tempo, com os intervalos de tempos adotados nas coletas. Os intervalos não foram regulares, tendo sido distribuídos de forma aleatória.

Também não ficou evidenciada a ocorrência de diferentes concentrações em função da cultura desenvolvida. Aparentemente, o processo de rotação de culturas homogeneiza os pesticidas que são encontrados no perfil do solo. Assim, todas as culturas

desenvolvidas apresentam igual potencial de acumulação de pesticidas no solo. Ressalta-se que o uso de pesticidas é quase constante ao longo do ano, pois são realizadas pelo menos duas colheitas. O período de repouso do solo é curto e compreende um mês no verão e cerca de dois meses no inverno.

Por outro lado, é preocupante observar que os pesticidas alcançam a camada profunda com concentrações elevadas. Neste caso, não existem diferenças nos comportamentos de transporte entre as áreas amostrais que possuem solos com características hidrodinâmicas diferentes.

CONCLUSÕES

Os resultados apresentados permitem apresentar algumas conclusões. As moléculas de fungicidas são detectadas com maior frequência nas três profundidades analisadas. As concentrações médias dos pesticidas variaram entre 7,7 e 326 ng g⁻¹. Ao

longo do perfil foram observadas concentrações de mesma ordem de grandeza nas camadas de 0 – 20, 40 – 60 e 80 – 100 cm. No entanto, o efeito da precipitação de curto termo e das características hidrodinâmicas do solo sobre o movimento dos pesticidas no perfil não puderam ser demonstrados através das coletas realizadas. Além disto, não ficou evidenciada a influência particular das culturas desenvolvidas sobre os valores de concentrações medidas. Isto significa que todas as culturas apresentam potencial de acumulação de pesticidas no perfil do solo. O manejo do solo aparenta influenciar fortemente na distribuição das concentrações ao longo da profundidade.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq (proc 301156/2008-5) pela concessão da bolsa de produtividade e aos revisores pelas expressivas recomendações que vieram a enriquecer este artigo.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, M. Aging, bioavailability, and overestimation of risk from environmental pollutants. *Environmental science & technology*. v.34, p.4259–4265. 2000.
- ANJOS, J. T.; UBERTI, A. A. A.; VIZZOTTO, V. J.; LEITE, G. B.; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 18: p.139-145, 1994.
- ARIAS-ESTÉVEZ, M., LÓPEZ-PERÍAGO, E., MARTÍNEZ-CARBALLO, E., SIMAL-GÁNDARA, J., MEJUTO, J.C. & GARCÍA-RÍO, L. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 123, n. 4, p. 247-260, 2008.
- BENDING, G.D., RODRÍGUEZ-CRUZ, S.M. & LINCOLN, S.D. Fungicide impacts on microbial communities in soils with contrasting management histories. *Chemosphere*, v.69, p. 82–88, 2007.
- CAMPBELL, G.S. *Soil physics with basic – transport models for soil/plant systems*. Amsterdam: Elsevier, 1985, 150 p.
- CARACCILO, A. B., GIULIANO, G., GRENNI, P., GUZZELLA, L., POZZONI, F., BOTTONIC, P., FAVAC, L., CROBEC, A., ORRU, M. & FUNARIC, E. Degradation and leaching of the herbicides metolachlor and diuron: a case study in an area of Northern Italy. *Environmental Pollution*, v. 134, p. 525–534, 2005.
- CARTER, A. How pesticides get into water - and proposed reduction measures. *Pesticide Outlook*, v. 11, p. 149–156, 2000
- CLAESSEN, M. E. C. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.212p.
- CORREIA, F., MERCANTE, F., FABRÍCIO, A., CAMPOS, T., VARGAS JR, E. & LANGENBACH, T. Adsorção de atrazina em solo tropical sob plantio direto e convencional. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, Curitiba, v.17, p. 37-46, 2007.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Solos do Estado de Santa Catarina*, Rio de Janeiro, 2004, 726 p, (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 46).
- FERRI, M.V.W., VIDAL, R.A., FLECK, N.G., CASSOL, E.A. & GOMES, P.A. Lixiviação do herbicida acetoclor em solo submetido à semeadura direta e ao preparo convencional. *Pesticidas: R.Ecotoxicol. e Meio Ambiente*, v. 13, p. 147-156, 2003.
- GARBELLINI, G. & ULIANA, C. Toxidez, degradação no meio ambiente e métodos eletroanalíticos de detecção do pesticida carbaril. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, v. 17, p. 29-36, 2007.
- GONÇALVES JR., A.C., TRAUTMANN, R.R., MARENGONI, N.G., RIBEIRO, O.L. & SANTOS, A.L. Produtividade do milho em resposta a adubação com NPK e Zn em Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico e Latossolo Vermelho Eutrófico. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 31, n. 4, p.1231-1236, 2007.
- GUO, L., JURY, W.A., WAGENET, R.J. & FLURY, M. Dependence of pesticide degradation on sorption: nonequilibrium model and application to soil reactors. *Journal of Contamination Hydrology*. v.43, n.1, p.45–62. 2000.
- GUZZELLA, L., RULLO, S., POZZONI, F. & GIULIANO, G. Studies on mobility and degradation pathways of terbutylazine using lysimeters on a field scale. *Journal of Environmental Quality*. v. 32, p.1089–1098. 2003.
- MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. AGROFIT. Sistema de agrotóxicos fitossanitários Disponível em http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principa_l_agrofit_cons. Acesso em: 29/07/2007.
- MATALLO, M. B., LUCHINI, L. C., GOMES, M. A. F., SPADOTTO, C. A., CERDEIRA, A. L. & MARIN, G. C. Lixiviação dos herbicidas tebutiuron e diuron em colunas de solo. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, v. 13, p.83-90, 2003.
- PEMPKOWIAK, J., TRONCZYNSKI, J. & PAZDRO, K. Spatial and Temporal Gradients of Triazines in the Baltic Sea off Poland. *Marine Pollution Bulletin*, v. 40, n. 12, p. 1082-1089, 2000.

- PREVEDELLO, C. L. Física do solo com problemas resolvidos. Curitiba, 1996, 446 p.
- PRICHARD, T., TROIANO, J., MARADE, J., GUO, F. & CANEVARI, M. Movement of Diuron and Hexazinone in Clay Soil and Infiltrated Pond Water *Journal of Environmental Quality*, v. 34, n.12. p. 2005-2017, 2005.
- REICHENBERGER, S., AMELUNG, W., LAABS, V., PINTO, A., TOTSCHKE, K. U. & ZECH, W. Pesticide displacement along preferential flow pathways in a Brazilian Oxisol. *Geoderma*, v. 110, n. 1-2, p.63-86, 2002.
- REICHENBERGER, S., BACH, M., SKITSCHAK, A. & FREDE, H.-G. Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground and surface water and their effectiveness; A review. *Science of The Total Environment*, v.384, n. 1-3, p. 1-35, 2007.
- ROSA, F.C. Estudo do potencial de degradação por pesticidas das águas da bacia do rio Itajaí. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Universidade Regional de Blumenau. (Dissertação), 2007, 145 p.
- TONI, L. R. M., SANTANA, H. & ZAIA, D. A. M. Adsorção de glifosato sobre solos e minerais. *Química Nova*, v. 29, n. 4, p.829-833, 2006.
- WEBER, J. B., WARREN, R. L., SWAIN, L. R. & YELVERTON, F. H. Physicochemical property effects of three herbicides and three soils on herbicide mobility in field lysimeters. *Crop Protection*, v.26, p.299-311, 2007.

soil profile. Soil management and texture strongly influence the concentration distribution along the depth of the profile.
Keyword: *mobility, water percolation, crop rotation.*

A Study of the Presence of Pesticides in the Soil Profile Under Different Types of Cultures

ABSTRACT

This paper aims at assessing the pesticides' transport in the soil profile, under different crops, in the area of study located in the Ituporanga municipality, in Santa Catarina State. Samples were collected in the soil profile at depths of 0 to 20 cm, 40 to 60 cm, and 80 to 100 cm in three different areas over a 2 year period. Crop management includes rotation and conventional tillage areas in which corn, onions, potatoes, beans, and sugar beets are cultivated. For each sample, the concentration of the pesticides 2,4-D, alachlor, atrazine, diuron, azoxystrobin, metaxyl, metconazole, tebuconazole, and lambda-cyhalothrin were determined. It was observed that the average concentration of active ingredients varied between 7.7 and 326 ng g⁻¹. All molecules were detected in the sampling areas and different layers along the soil profile. There is no evidence suggesting the influence of the cultivated crops over the concentration values measured. This means that all crops have a potential for pesticide accumulation along the