

# PREVISÃO DA LIXIVIAÇÃO DO HERBICIDA TEBUTHIURON NO SOLO E ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM ÁREA DE RECARGA DO AQUÍFERO GUARANI

Claudio A. Spadotto<sup>1</sup>; Marco A. F. Gomes<sup>2</sup>; Marcus B. Matallo<sup>3</sup> & Luiz C. Luchini<sup>4</sup>

**Resumo** - Estudos desenvolvidos em áreas de recarga do Aquífero Guarani têm mostrado a presença do herbicida tebuthiuron em água subsuperficial e em poço. O objetivo do presente trabalho foi prever, através do modelo AF, a lixiviação do tebuthiuron até aquele aquífero na Microbacia do Córrego Espraiado (Ribeirão Preto, SP) e, conseqüentemente, estimar sua concentração na água subterrânea. Os resultados mostraram que a aplicação do tebuthiuron na área do Neossolo apresenta alto potencial de contaminação do Aquífero Guarani, podendo ultrapassar o padrão da Comunidade Européia para consumo humano. Entretanto, o uso desse herbicida em áreas com Latossolo Vermelho psamítico na microbacia pode diminuir seu potencial de contaminação da água subterrânea, tanto pela maior distância até o aquífero como pela proteção do Latossolo, no qual a lixiviação do tebuthiuron é bem menor.

**Abstract** - Studies in the recharge area of the Guarani Aquifer in Brazil have shown the presence of the herbicide tebuthiuron in subsurface water and drinking water well. This work was conducted to predict, by means of the AF model, leaching of tebuthiuron into that aquifer in the Espraiado Stream Watershed (Ribeirão Preto, SP) and, consequently, to estimate its concentration in groundwater. Results showed that the use of tebuthiuron in area with sandy soil (Typic Quartzipsamment) has high contamination potential of the Guarani Aquifer, even above the EC-drinking water limit. In the other hand, the use of tebuthiuron in areas with clayey soil (Typic Haplorthox) in that watershed should reduce the groundwater contamination potential due to the larger distance to the aquifer and on account of the clayey soil protection, in which the tebuthiuron leaching is much smaller.

---

<sup>1</sup> Eng. Agr., Ph.D., Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna (SP), e-mail: [spadotto@cnpmembrapa.br](mailto:spadotto@cnpmembrapa.br)

<sup>2</sup> Geól., D.Sc., Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna (SP).

<sup>3</sup> Eng. Agr., D.Sc., Pesquisador do Instituto Biológico, Campinas (SP).

<sup>4</sup> Quím. D.Sc., Pesquisador do Instituto Biológico, São Paulo (SP).

**Palavras-Chave** – lixiviação; contaminação; aquífero.

## **INTRODUÇÃO**

O Aquífero Guarani é do tipo regional confinado, uma vez que 90% de sua área está recoberta por espessos derrames de lavas basálticas, e suas áreas de recarga se localizam nas bordas leste e oeste da Bacia Sedimentar do Paraná, em faixas alongadas do pacote sedimentar que afloram à superfície. As áreas de recarga se constituem nas regiões onde o aquífero se encontra mais vulnerável. A alimentação do aquífero se dá por dois mecanismos: a infiltração direta das águas de chuva nas áreas de recarga e a infiltração vertical ao longo de discontinuidades nas áreas de confinamento, num processo mais lento [1].

Estudos desenvolvidos pela Embrapa Meio Ambiente em áreas de recarga do Aquífero Guarani, na região de Ribeirão Preto/SP, revelaram a presença do herbicida tebuthiuron em água subsuperficial e também em um poço tubular com cerca de 53 metros de profundidade [2], embora em concentrações abaixo daquelas consideradas críticas pela Organização Mundial de Saúde [3] e pela Diretiva da Comunidade Econômica Européia [4].

Matallo et al. [5] desenvolveram um estudo em lisímetros de 50 cm de profundidade para se determinar a lixiviação dos herbicidas tebuthiuron e diuron em colunas de solos com textura média (Latosol Vermelho Psamítico) e arenosa (Neossolo Quartzarênico) retiradas na microbacia do Córrego do Espraiado situada em área típica de recarga do Aquífero Guarani em Ribeirão Preto-SP. Adicionalmente, foi feita a avaliação do modelo AF (*Attenuation Factor*) multi-camadas, para previsão da lixiviação dos herbicidas em colunas indeformadas de solo. Nos lisímetros, os resultados mostraram que ambos produtos lixiviam em maior quantidade no Neossolo, sendo o tebuthiuron mais lixiviado que o diuron. O modelo AF apresentou previsões da quantidade lixiviada muito boas para os dois herbicidas no Neossolo.

O objetivo do presente trabalho foi prever através do modelo AF a lixiviação do herbicida tebuthiuron até o Aquífero Guarani e, conseqüentemente, estimar sua concentração na água subterrânea.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Foram selecionadas as condições da microbacia do Córrego do Espraiado por estar localizada em área representativa do monocultivo de cana-de-açúcar, que ocupa 67% da área total da microbacia e, ainda, por possuir áreas consideradas vulneráveis do ponto de vista da contaminação da água subterrânea e reconhecidas como áreas de recarga do Aquífero Guarani, com uma extensão de 16.000 km. A microbacia do Córrego do Espraiado possui uma área de 4.463 ha, estando

localizada à sudeste da cidade de Ribeirão Preto-SP, na divisa entre os municípios de Ribeirão Preto, Cravinhos e Serrana, pertencendo à bacia hidrográfica do Rio Pardo, e apresenta solos semelhantes a outras áreas de recarga no Estado de São Paulo. Por sua vez, o tebuthiuron (N-(5-(1,1-dimetiletil)-1,3,4-tiadiazol-2-il)-N,N'-dimetilureia) é um herbicida do grupo dos derivados da uréia recomendado para uso na cultura da cana-de-açúcar.

As propriedades do solo, Neossolo Quartzarênico (textura arenosa), até 50 cm de profundidade, e do tebuthiuron foram as mesmas obtidas e utilizadas por Matallo et al. [5]. As propriedades do solo estão apresentadas na Tabela 1. Abaixo de 50 cm até as diferentes profundidades da zona saturada (o aquífero) foram usados valores médios das propriedades do solo e do material rochoso (Arenito Botucatu) na região de estudo. A taxa de recarga hídrica líquida de 442 mm/ano foi estimada como a diferença entre chuva e evapotranspiração na microbacia do Espraiado.

**Tabela 1** - Propriedades do solo na área de recarga do aquífero Guarani na microbacia do córrego do Espraiado, Ribeirão Preto (SP) [5].

Propriedade do Solo <sup>1</sup>	Profundidade		
	0-12 cm	12-22 cm	22-50 cm
Capacidade de Campo (%)	20,13	18,41	18,06
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,20	1,07	1,26
Carbono Orgânico (%)	0,24	0,15	0,02

<sup>1</sup>Neossolo Quartzarênico

Os valores do coeficiente de sorção (*Kd*) foram 0,4; 0,2 e 0,1 mL/g, respectivamente, nas profundidades até 12 cm, de 12 a 22 cm e maior que 22 cm. Segundo resultados apresentados por Matallo et al. [5], os dados do estudo de degradação do tebuthiuron em laboratório, mesmo no horizonte superficial do solo (0–12 cm), ajustaram-se melhor à função bi-exponencial, o que significava que sua degradação inicialmente é rápida ( $t/2 = 1,3$  dias) e posteriormente lenta ( $t/2 = 1.386$  dias). Assim, para os cálculos realizados nesse trabalho, a dose de tebuthiuron foi considerada pela metade e, concomitantemente, foi usada a meia-vida mais longa. Isso porque se não houver ocorrência de chuvas logo após a aplicação, o tebuthiuron permanecerá na superfície do solo, onde será rapidamente degradado até metade da sua massa inicialmente aplicada, sendo posteriormente degradado lentamente. Por outro lado, se houver chuvas logo após a aplicação o herbicida será lixiviado rapidamente para as camadas mais profundas do solo, onde a degradação é mais lenta.

A previsão da lixiviação do herbicida até a zona saturada foi baseada no modelo *AF* (*Attenuation Factor*) multi-camadas apresentado por Hornsby e Rao [6], cuja aplicação foi determinada não apenas pelos objetivos do trabalho, mas também pela disponibilidade de dados necessários.

O *AF*, segundo Rao et al. [7], é definido como a fração da quantidade de pesticida aplicada na superfície do solo que lixivia através de determinada profundidade do solo, podendo ser expressa pela equação:

$$AF = \exp(-tr \times k) \quad (1)$$

onde, *tr* representa o tempo de percurso, e é a constante da taxa de degradação de primeira ordem do herbicida no solo.

A constante da taxa de degradação (*k*) está relacionada com a meia-vida do herbicida (*t*<sup>1/2</sup>) conforme a equação:

$$k = \frac{0.693}{t^{1/2}} \quad (2)$$

O tempo de percurso do herbicida foi calculado pela seguinte equação:

$$tr = \left( \frac{L \times FC}{q} \times RF \right) \quad (3)$$

onde, *L* representa a distância até o aquífero, *FC* a capacidade de campo do solo, e *q* a taxa de recarga hídrica líquida.

O fator de retardo (*Retardation Factor, RF*) do movimento do herbicida no solo foi obtido pela equação:

$$RF = 1 + \frac{(BD \times OC \times K_{oc})}{FC} \quad (4)$$

onde, *BD* é a densidade do solo, *OC* a fração de carbono orgânico, *K<sub>oc</sub>* o coeficiente de sorção do herbicida (*K<sub>d</sub>*) padronizado para carbono orgânico do solo.

A concentração (*C*) do tebuthiuron no aquífero foi estimada pela equação:

$$C \cong \frac{M}{a \times d \times p} \quad (5)$$

onde,  $M$  é massa (kg/ha) prevista do herbicida chegando até o aquífero,  $a$  é a área considerada,  $d$  é a profundidade (m) de mistura do herbicida dentro do aquífero e  $p$  representa a porosidade do aquífero.

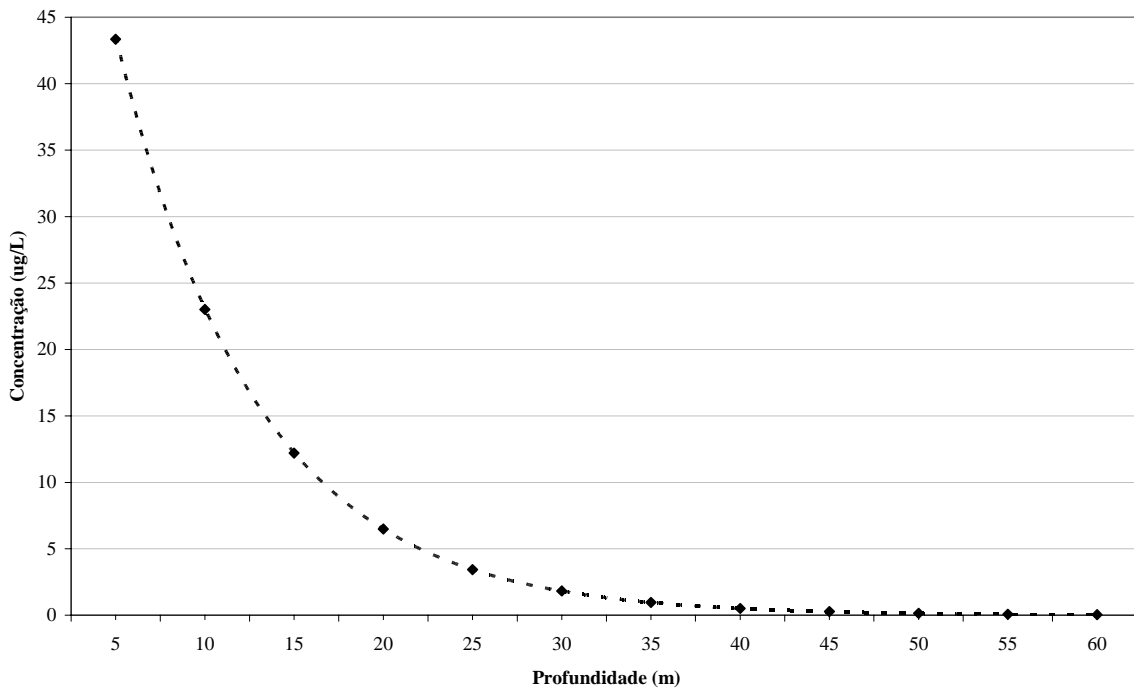
Nesse trabalho, para efeito da estimativa da concentração no aquífero, foi considerada uma área de 1 ha (10.000 m<sup>2</sup>), sendo assumido que a profundidade de mistura é de 2 m e a porosidade do aquífero de 30%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações estimadas considerando diferentes profundidades do topo do aquífero, a partir da superfície do solo, estão representadas na Figura 1. A concentração do tebutiuron é reduzida exponencialmente conforme a profundidade do aquífero aumenta, e a concentração que atende o padrão de qualidade de água para consumo humano da Comunidade Européia (0,1 µg/L) ocorreria quando o aquífero estivesse a cerca de 53 m de profundidade. A média regional das profundidades das áreas de recarga é de 42 m, enquanto que na área da microbacia do Espriado somente com a cobertura de Neossolo Quartzarênico, a profundidade é de 10 m em média, onde a concentração estimada seria de 23,0 µg/L. É importante notar que nesse trabalho não se considerou a eventual presença de camadas de impedimento e de lençóis freáticos suspensos.

Na condição da área de recarga na microbacia do Espriado com cobertura de Latossolo Vermelho psamítico (textura média), a profundidade média do aquífero é de 20 m. Nesse caso, o aquífero estaria mais protegido pelo Latossolo, no qual a lixiviação do tebutiuron encontrada por Matallo et al. [5] foi bem menor que no Neossolo. No entanto, seguindo-se das partes mais altas da microbacia em direção ao córrego do Espriado, essa cobertura diminui até chegar somente no Neossolo (próximo ao córrego), diminuindo também a distância entre a superfície do solo e a zona saturada. Deve-se lembrar que nesse trabalho não foi considerado o eventual transporte do tebutiuron por escoamento superficial. Se ocorrer, esse transporte poderia levar o herbicida aplicado em outras áreas para as de Neossolo.

A aplicação do tebutiuron na área do Neossolo apresenta alto potencial de contaminação do Aquífero Guarani, podendo ultrapassar o padrão da Comunidade Européia para consumo humano. Entretanto, o uso desse herbicida fora das áreas com Neossolo, restringindo-se às áreas com Latossolo Vermelho psamítico na microbacia do Espriado, pode diminuir seu potencial de contaminação da água subterrânea, tanto pela maior distância até o aquífero como pela proteção do Latossolo. A manutenção, ou a recuperação, da mata ciliar ao longo do córrego Espriado seria a medida ambientalmente mais adequada, assim como legalmente requerida.



**Figura 1** - Concentrações de tebuthiuron no Aquífero Guarani estimadas considerando diferentes profundidades do topo do aquífero, a partir da superfície do solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Rocha, G. A. **Mega reservatório de água subterrânea do Cone Sul: bases para uma política de desenvolvimento e gestão**. UFPR/IDRC, Curitiba, 1996. 25 p.
- [2] Gomes, M.A F.; Spadotto, C.A; Lanchote, V.L. Ocorrência do herbicida tebuthiuron na água subterrânea na Microbacia do Córrego Espreado, Ribeirão Preto-SP. **Pesticidas: R. Ecotoxicol. e Meio Ambiente**, v.11, p.65-76. 2001
- [3] Bonato, P. S., Lanchote, V. L., Dreossi, S. A. C., Gomes, M. A. Cerdeira, A. L., Carvalho, D. High performance liquid chromatography screening and gs chromatography-mass sapectrometry confirmation of thebutiuron residues in drinking water. **J. High Resol. Chromatogr.**, v 22, p. 239-241, 1999.
- [4] Altenburger, R. Pesticides in EC drinking water – limit value may be raised. **Pestizid Brief**, PAN Germany, October 1993, 2p.
- [5] Matallo, M.B.; Spadotto, C.A.; Luchini, L.C.; Gomes, M.A.F. Sorption, Degradation, and Leaching of Tebuthiuron and Diuron in Soil Columns. **J. Environ. Sci. Health**, v. B39, n.6, 2004 (in press).

- [6] Hornsby; A.G.; Rao, P.S.C. Post publication addendum to Indices for ranking the potential for pesticide contamination of groundwater [Online]. Disponível em: <http://waterquality.ifas.ufl.edu/publications/>>.
- [7] Rao, P.S.C.; Hornsby, A.G.; Jessup, R.E. Indices for ranking the potential for pesticide contamination of groundwater. **Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings**, v.44, p.1-8, 1985.